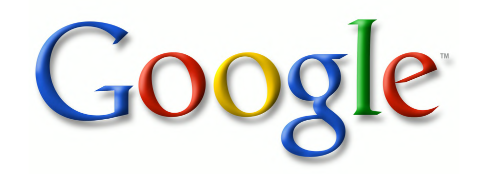
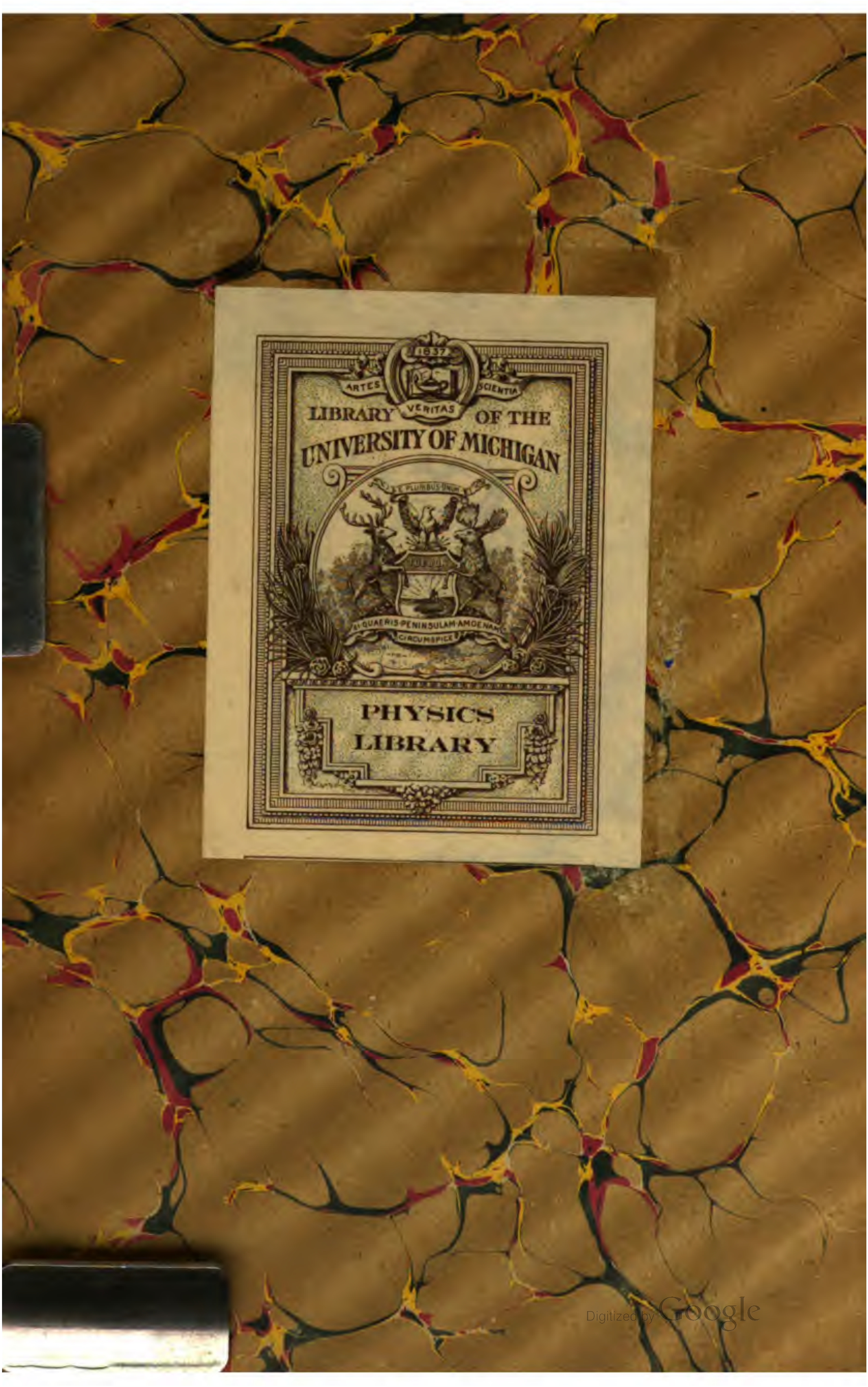
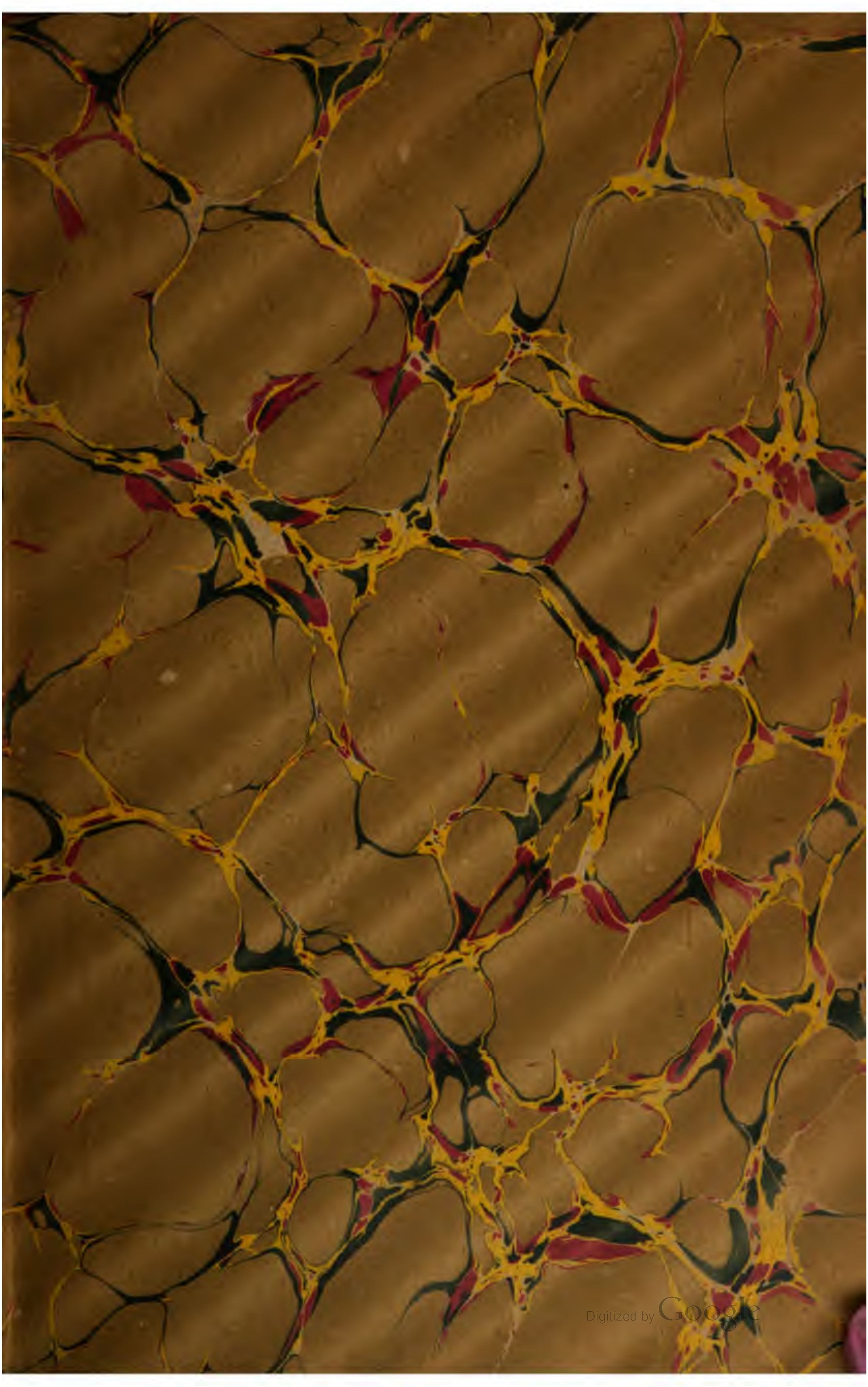





1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
PHYSICS
LIBRARY



# SOCIÉTÉ FRANÇAISE

# DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1886.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,

12048 Quai des Augustins, 55.

# SÉANCES

DE LA

# SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

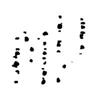
---

ANNÉE 1886.

---

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1886



# SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

## SÉANCE DU 15 JANVIER 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 décembre 1885 est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Chambert (Paul), Propriétaire à Châteauroux.
Godfrin, Professeur au Lycée de Valenciennes.
Paillot, chef des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Lille.
Gouty, Ingénieur à Genève (Suisse).
Girault, Professeur au Collège Chaptal.
Van Aubel (Ed.), Membre de la Société géologique de Belgique, à Liège.
Mathias (Émile), Agrégé préparateur à la Faculté des Sciences de Paris.
Roux (Gaston), Préparateur à l'École de Chimie et de Physique industrielles de la ville de Paris.

M. le Président déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Vice-Secrétaire, de deux Membres pour la Commission du Bulletin et pour le renouvellement partiel du Conseil.

Sont élus :

*Vice-Président :* M. Wolf;
*Vice-Secrétaire :* M. Pollard;
*Membres de la Commission du Bulletin :* MM. Bouty et Mascart.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

| *Membres résidants.* | *Membres non résidants.* |
|---|---|
| MM. Baille, | MM. Brillouin (Toulouse), |
| Bienaymé, | De Chardonnet (Besançon), |
| Friedel, | Lermantoff (Saint-Pétersbourg), |
| Pellat. | Rousseau (Bruxelles). |

M. Carpentier, Rapporteur, donne lecture du Rapport de la Commission des Comptes sur l'exercice de 1885.

Les conclusions du Rapport sont mises aux voix et adoptées.

M. le Président SEBERT, en l'absence de M. MAREY, Président sortant en 1886, rend compte des Travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL présente, de la part de M. Weyher, une Note relative à des expériences sur l'entraînement et la suspension de sphères par un jet d'air ou de vapeur, expériences analogues à celles qu'on produit au moyen d'un jet d'eau.

M. ROBIN présente de nouveaux arguments en faveur de la gamme résultant de la formation des quintes, et met en évidence les conséquences erronées de l'adoption de celle qui résulte de la superposition des accords parfaits. Il rappelle les travaux de Ritter, inspirés par l'enseignement de M. Chevé, ceux de MM. Mercadier et Cornu.

Il fait le dénombrement des intervalles des gammes diatonique, chromatique et enharmonique, qui, pour chacune de ces gammes, dans le système dit des *musiciens*, ne sont que de deux espèces et se succèdent en période régulière et simple, et présentent au contraire une grande complication dans le système dit des *physiciens*. Deux diagrammes résument ces considérations. L'un représente les logarithmes des vibrations des notes de la gamme enharmonique dans les gammes tempérées, des musiciens et des physiciens, l'autre les longueurs des cordes donnant ces notes.

M. Robin présente aussi un instrument qui permet d'obtenir immédiatement et très justes les gammes à comparer. Dix-huit fils de même longueur et de même poids donnent évidemment le même son. A l'aide de sillets mobiles on peut diminuer la partie vibrante de leurs cordes, conformément à l'une ou l'autre théorie. Cet instrument, dont l'accord est constant et indépendant des erreurs personnelles, permet en tout temps d'entendre et de comparer les deux gammes. M. Robin termine en parlant des gammes approchées : la gamme tempérée, celle de Vignan et celle qu'admettent la plupart des musiciens actuels dans laquelle le rapport de la seconde mineure à la majeure est $\frac{4}{9}$.

Une discussion s'engage entre MM. ROBIN, MASCART et PLOIX sur la distinction faite par MM. Cornu et Mercadier entre les intervalles *mélodiques* et les intervalles *harmoniques*. M. Louis D'HENRY rappelle que Delezenne avait fait beaucoup d'expériences sur ce sujet et qu'on trouverait dans ses écrits la réponse à plusieurs des questions qui viennent d'être soulevées.

M. VIOLLE rend compte des expériences qu'il a faites ces vacances avec M. Vautier sur la propagation du gaz dans un tuyau cylindrique, et dans lesquelles ils ont cherché à éclaircir différents points omis ou laissés en litige par Regnault, dans son beau travail sur ce sujet.

Ils ont pu utiliser une double conduite, de $0^m,70$ de diamètre, s'étendant en ligne droite de Grenoble au pont de Claix sur une longueur L de près de $6^{km},5$. L'onde sonore a été produite au moyen de pistolets ou d'instruments de musique. Dans la Communication actuelle, il n'a été question que des expériences avec le pistolet.

Quand on tire un coup de pistolet à l'une des extrémités de la conduite, un observateur placé à cette extrémité entend un son qui se prolonge en paraissant s'éloigner et en présentant une série de roulements marqués. A l'autre extrémité, distante de $6^{km},5$, le son présente les mêmes caractères, atténués. Après $13^{km}$, on entend un bruit sourd et unique, et en même temps on sent un fort coup de vent. Plus loin cette poussée de l'air est la seule chose que l'on perçoive ; elle est encore parfaitement sensible après $50^{km}$.

Le tambour à levier de M. Marey confirme ces résultats : il montre que l'ébranlement sonore se fond graduellement en une onde unique, qui est sans action acoustique. Les graphiques se prêtent d'ailleurs à des mesures précises. On peut ainsi constater qu'après des parcours 0,2L, 4L, 6L, le maximum se produit $0^s,029$, $0^s,188$, $0^s,305$, $0^s,367$ après l'arrivée du front de l'onde. Ces maxima vont en décroissant suivant une formule exponentielle, évidente *à priori*, la raison du décroissement étant moindre que dans des tuyaux étroits, selon la théorie de MM. Helmholtz et Kirchhoff. Quant aux temps employés par le front de l'onde à parcourir une première, une deuxième, une troisième fois le chemin 2L, il se relève aisément par ces graphiques.

On l'a mesuré d'autre part avec les appareils mêmes de Regnault, prêtés obligeamment par M. Mascart, et l'on a trouvé ainsi dans une même séance successivement par les deux méthodes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Premier parcours........... | $37^s,259$ | et | $37^s,251$ |
| Deuxième parcours......... | » 337 | | » 334 |
| Troisième parcours......... | » 383 | | » 384 |

Il était donc probable que l'inertie des membranes, très différente d'un appareil à l'autre, était dans tous les cas très faible. L'expérience directe a montré que l'inertie ne se traduisait en effet que par une correction extrêmement petite. La vitesse de propagation paraît donc décroître en même temps que l'intensité, comme le voulait Regnault.

---

## RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES
### SUR L'EXERCICE 1885.

La Commission a reçu du Trésorier les documents et les renseignements qui lui ont permis d'établir ainsi qu'il suit la situation financière de la Société.

*Recettes.*

| | fr |
|---|---|
| En caisse à l'ouverture de l'exercice.......................... | 6498,75 |
| Les cotisations ont produit pendant l'exercice................ | 6537,65 |
| Les droits d'entrée........................................... | 170,00 |
| Les versements entiers ou partiels de souscriptions perpétuelles. | 1420,00 |
| Les intérêts du capital placé.................................. | 1027,35 |
| *A reporter*........ | 15653,75 |

| | |
|---|---|
| *Report*........ | 15653,75 |
| Le remboursement d'une obligation tombée au sort........... | 492,75 |
| La vente des publications de la Société, comprenant l'achat par le Ministère de l'Instruction publique de 20 exemplaires du volume d'Ampère.................................... | 1350,90 |
| | 17497,40 |

*Dépenses.*

| | |
|---|---|
| Loyer du siège social.......................................... | fr 600,00 |
| Traitement de l'agent de la Société (1er décembre 1884 à 1er janvier 1886)............................................. | 1700,00 |
| Impression et distribution des ordres du jour (novembre 1883 à juillet 1884)........................................ | 815,70 |
| Impression et distribution du *Bulletin* (juillet 1883 à décembre 1884)................................................. | 3572,25 |
| Impression et distribution de circulaires, cartes, avis ......... | 154,00 |
| Abonnements aux journaux scientifiques, reliure............. | 284,85 |
| Bibliothèque circulante........................................ | 89,95 |
| Frais de bureau et frais divers (recouvrement des cotisations). | 590,60 |
| Frais d'expériences pour les séances........................ | 436,40 |
| Séance de Pâques............................................ | 644,10 |
| Tome II de la collection des Mémoires........................ | 8019,45 |
| Souscription au monument de M. Bertin..................... | 100,00 |
| | 17007,30 |
| Excédent des recettes sur les dépenses en clôture d'exercice... | 490,10 |

## Situation.

*Actif.*

| | | Taux actuel. |
|---|---|---|
| 50 obligations nominatives du chemin de fer du Midi achetées.................................... | fr 17800,20 | fr 19125,00 |
| 22 obligations au porteur.......................... | 7832,10 | 8415,00 |
| Espèces en caisse.............................................. | | 490,10 |
| Cotisations à recouvrer....................................... | | 4108,00 |
| Volumes en dépôt chez M. Gauthier-Villars (824 Coulomb; 980 Ampère). La valeur du volume a été fixée à 6fr. Minimum que peut rapporter sa vente.................................. | | 10824,00 |
| | | 42962,10 |

*Passif.*

Le passif se réduit aux factures produites par M. Gauthier-Villars et non encore soldées :

| | |
|---|---|
| Ordres du jour (juillet 1884 à juillet 1885).................. | fr 905,70 |
| Bulletin (janvier 1885 à juillet 1885) environ................. | 1600,00 |
| | 2505,70 |

*Statistique.*

D'après les renseignements fournis par M. le Trésorier, le nombre des Membres dont le concours pécuniaire assure l'existence financière de la Société s'élève à 629, ainsi répartis :

| | | | | | | fr |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 74 | Souscripteurs | perpétuels | entièrement | libérés | ayant payé...... | 200 |
| 6 | » | » | » | » | ...... | 150 |
| 11 | » | » | » | » | ...... | 100 |
| 8 | » | » | » | » | ...... | 50 |
| 276 | Membres résidant | dans le département de la Seine et payant . | | | | 20 |
| 189 | » | » en province ou dans les Colonies | | | » . | 10 |
| 65 | » | » à l'étranger et payant.................... | | | | 10 |

Pour se conformer aux statuts, et suivant l'avis émis par la précédente Commission des Comptes, M. le Trésorier a pris des mesures pour faire convertir en titres nominatifs dix des obligations au porteur figurant à l'actif de la Société. L'opération est en cours. Quand elle sera réalisée, le capital immobilisé, calculé au taux où les obligations ont été achetées, s'élèvera à........................................................ 21360,25
dépassant ainsi sensiblement le chiffre des rachats des cotisations qui est de.............................................. 18800,00

La Commission, après avoir vérifié l'état de la caisse et s'être fait présenter les pièces de comptabilité, a établi, ainsi qu'il précède, le résumé des comptes pour l'exercice 1885 et la situation au 1er janvier 1886. Elle en propose l'approbation à la Société.

*Les Membres de la Commission des Comptes,*

J. Carpentier, J. Duboscq, de Romilly.

---

# ALLOCUTION DU VICE-PRÉSIDENT.

Messieurs,

En l'absence de M. Marey, je suis appelé à prendre aujourd'hui la parole pour vous présenter le résumé habituel des faits principaux qui ont marqué, pour notre Société, l'année qui vient de s'écouler.

Vous regretterez, comme moi, cette occasion d'entendre la parole sympathique de notre Président et j'espère que vous m'autoriserez à lui faire parvenir, avec l'expression de nos regrets, au

moment où il quitte ses fonctions, les vœux que nous formons pour qu'il nous revienne bientôt, avec une abondante moisson, de ces contrées favorisées du soleil où il est allé poursuivre des recherches que la mauvaise saison aurait interrompues ici.

L'année 1885, qui a fait tant de vides parmi les sommités de la Science, n'a pas épargné notre Société.

Nous avons perdu onze de nos collègues, et parmi eux figuraient aussi des savants de premier ordre.

A l'étranger, c'est Andrews dont le nom restera associé à la brillante découverte de l'existence du point critique des gaz; c'est Rosetti, le savant professeur de l'Université de Padoue; c'est Lvoff, le Secrétaire de la Société impériale polytechnique de Saint-Pétersbourg.

En France, nous rencontrons successivement les noms de Prazmowski, l'ancien Directeur de l'observatoire de Varsovie, qui était venu consacrer sa science et sa haute expérience à la construction d'instruments justement renommés; Rolland, de l'Institut, qui a jeté un si grand éclat sur la Direction des manufactures de l'État; les professeurs Duchêne et Maréchal, puis nos jeunes collègues Desquesnes et Félix Fournier, et enfin, associés dans la mort comme ils le furent un moment dans leurs travaux, Brion, l'ancien professeur du lycée Saint-Louis, et le colonel du génie Mangin.

Je n'ai pas à rappeler, devant un auditoire comme le vôtre, les mérites de ceux des physiciens dont je viens de citer les noms, qui ont acquis une juste célébrité, mais vous me pardonnerez, je pense, d'énumérer brièvement quelques-uns des titres du colonel Mangin, titres qu'une modestie exagérée et, je puis dire, une timidité extrême ont trop laissés dans l'ombre.

Je dois rappeler notamment ici la part qu'il a prise à la création de la télégraphie optique, dont l'heureuse conception est due, vous ne l'ignorez pas, à notre dévoué trésorier, M. Maurat.

Après les études faites, pendant le siège de Paris, sous la direction de M. le colonel Laussedat et auxquelles, outre MM. Maurat, Brion et Hioux, ont encore coopéré plusieurs de nos collègues, et surtout MM. Cornu et Mercadier, le colonel Mangin a eu la bonne fortune d'être appelé à présider à la création de notre matériel de télégraphie optique. Il a doté ainsi notre armée d'une ressource précieuse qui a rendu déjà de grands services dans de récentes expéditions lointaines. L'importance de cette

création peut se mesurer à l'empressement que les nations voisines ont mis à la copier.

Le colonel Mangin était préparé à cette tâche par ses recherches antérieures sur l'Optique géométrique; il avait pour cette science un penchant particulier et il a attaché encore son nom à des perfectionnements des objectifs photographiques pour la production des vues panoramiques ainsi qu'à la réalisation d'appareils de projection puissants pour l'emploi de la lumière électrique dans les opérations militaires.

Il serait trop long de rappeler tous ses travaux scientifiques, dont quelques-uns seulement ont trouvé place dans des recueils spéciaux. Je me contenterai de signaler encore le rôle qu'il a joué dans l'organisation du service de l'aérostation militaire et l'aide qu'il a apportée aux travaux qui déjà ont rendu célèbres notre jeune collègue, le capitaine Renard, et ses dévoués collaborateurs.

L'ablation d'un œil qu'il dut subir, à la suite d'une maladie causée certainement par l'action des foyers lumineux intenses dont il voulait régler l'emploi, provoqua chez lui des désordres cérébraux qui interrompirent, pour un temps, le fonctionnement de son intelligence.

Il reprit cependant possession de lui-même et put applaudir, avant sa mort, au succès éclatant de ceux dont il avait jalonné la route.

Il eut ainsi la suprême consolation que méritent ceux qui, comme lui, sont prêts à donner leur vie pour la Science et pour la Patrie.

A côté des pertes que nous déplorons, il est consolant de placer les gains qu'a faits notre Société.

Nous comptons aujourd'hui plus de 650 Membres et 39 Collègues nouveaux, dont 6 étrangers se sont joints à nous pendant l'année.

Ces nombres témoignent de la prospérité toujours croissante de notre Société; mais il ne faut pas cependant omettre de remarquer qu'ils font ressortir un ralentissement, léger il est vrai, mais persistant dans l'accroissement de notre effectif.

Toutefois, il nous est permis d'espérer encore que ce ralentissement pourra être enrayé si nous voulons bien faire tous quelques efforts pour recruter des adhérents nouveaux et faire connaître au

dehors l'existence de notre Société et les conditions de son fonctionnement.

La publication de la Collection des Mémoires relatifs à la Physique, dont l'initiative est due à notre dévoué Secrétaire général et qui se continue avec régularité, contribuera sans doute aussi, avec le temps, à ce résultat.

Suivant de près le Volume consacré aux Mémoires de Coulomb, dont nous sommes redevables à M. Potier, nous avons pu faire paraître, cette année même, le Volume consacré à la première Partie des Mémoires sur l'Électrodynamique. Ce Volume renferme les Mémoires principaux d'Arago, de Biot, de Davy, de Faraday et des deux de de La Rive, ainsi que les premiers Mémoires d'Ampère.

Le troisième Volume, qui contiendra le complément des Mémoires d'Ampère et qui est dû, comme le précédent, au zèle infatigable de M. Joubert, est déjà sous presse et un don généreux nous a permis, comme vous le savez, de mettre en mains un quatrième Volume, sans attendre le délai que nos seules ressources nous eussent obligés d'observer.

M. Wolf, le savant astronome que vos suffrages viennent d'appeler à me seconder et à me remplacer sur ce fauteuil, a bien voulu se charger de réunir, dans ce Volume, les Mémoires célèbres qui concernent la théorie du pendule et qui ont pour auteurs Borda, Bessel et Cavendish. Il se propose d'y ajouter une Notice historique qui en doublera la valeur.

Quand une Société peut se présenter avec un semblable bagage, elle possède, je le crois, une vitalité qui doit vous donner les meilleures espérances pour sa prospérité future.

Il n'est pas, du reste, besoin d'autre preuve de cette vitalité que de voir le nombre et la qualité des auditeurs qui se pressent à nos séances et d'examiner la variété et l'intérêt des Communications qui nous sont faites.

Sous ce rapport, cette année n'a pas été inférieure aux précédentes.

Nos séances n'ont pas vu apparaître quelques-unes de ces grandes découvertes qui font sensation, comme celles qui ont marqué des années qui ne sont pas encore loin de nous; mais des Communications du plus haut intérêt sont venues nous prouver que, si la Science se recueille pour ainsi dire en ce moment, c'est

pour arriver bientôt sans doute à de nouvelles conquêtes, non moins importantes que celles qui ont déjà illustré ce siècle.

Comme toujours, les Communications relatives à l'Électricité ont largement dominé.

Un grand nombre de Membres ont traité des questions de science pure, mais de non moins nombreuses Communications, concernant plus spécialement des sujets d'application, sont venues donner à nos réunions la variété désirable.

Les questions de science pure qui ont été traitées montrent une tendance marquée à pénétrer de plus en plus dans la constitution intime de la matière pour arracher à la nature les derniers secrets qui nous échappent encore.

A ce titre, je dois citer en première ligne les magistrales Communications de M. Cornu sur les raies spectrales de l'hydrogène et des métaux et sur la surface de l'onde dans un milieu influencé par l'action magnétique, celles de M. Mercadier sur la vibration des plaques circulaires minces et sur de nouveaux appareils de radiophonie, la Communication de M. Henri Becquerel sur la mesure du pouvoir rotatoire magnétique des corps en unités absolues, celles de M. Krouchkoll sur la variation de la constante capillaire à la surface de certains liquides sous l'influence d'une force électromotrice, celles encore de M. Gernez sur la surfusion cristalline du soufre, de M. Le Châtelier sur le dimorphisme de l'iodure d'argent et de M. Dufet sur la loi de Gladstone et la variation de l'indice moléculaire.

Parmi les Communications concernant la science électrique, il nous faut encore citer celle de M. Baille sur la méthode de l'amortissement pour la détermination de l'ohm, de M. Pellat sur la force électromotrice de combustion, de MM. Bouty et Foussereau sur la résistance électrique des liquides, de M. Lippmann sur la constante capillaire du mercure et la mesure du potentiel magnétique d'un système de bobines, celles enfin de MM. Mascart et Rechniewski sur différents points de la théorie des machines dynamo-électriques.

Dans l'ordre des applications de l'Électricité, nous avons vu les nouveaux téléphones de MM. Colson et Ochorowicz, les piles de MM. Guérin et West, ainsi que la machine électrique de Wimshurst. Nous avons entendu les Communications de M. d'Arsonval

sur les batteries de polarisation, de M. Lippmann sur l'entretien électrique des diapasons, de M. Clémandot sur le développement de la force coercitive par compression dans l'acier, de M. Reynier sur le foisonnement du plomb dans les accumulateurs et sur la protection du zinc dans les couples voltaïques.

Sur l'application des Sciences physiques à la Physiologie, nous avons entendu des Communications de MM. Gréhant et Quinquaud, Boudet de Pâris et Mendelsohn.

M. Cailletet nous a entretenu de son nouveau procédé de liquéfaction de l'oxygène;

M. Bouty de la conductibilité électrique des métaux à basse température;

M. Godard de la diffusion de la chaleur.

Nous avons vu, d'autre part, la nouvelle machine à faire le vide de M. de Romilly, les nouveaux hygromètres de MM. Sire et Bourbouze, les appareils pour contrôler les surfaces des lentilles de M. Léon Laurent, l'appareil pour le tracé des caustiques de M. Dybowski.

M. Violle nous a présenté le nouvel étalon de lumière de Siemens, M. Cazes nous a entretenu d'un moyen d'obtenir, par la Photographie, des épreuves stéréoscopiques exactes, et enfin notre Président nous a montré les photographies chronographiques qu'il a obtenues de la trajectoire d'un point lumineux, photographies dont la présentation nous a valu un échange d'intéressantes observations.

Cette longue énumération suffit, à elle seule, pour montrer la variété des sujets qui ont été traités dans nos séances et pour expliquer l'attrait qu'elles peuvent présenter.

Elle montre que ce n'est pas seulement les savants adonnés à la Science pure qui peuvent y trouver des sujets de méditation, mais que les physiciens portés plus spécialement vers les applications peuvent aussi y recueillir d'utiles enseignements.

Dans cet ordre d'idées, il ne faut pas oublier l'attrait particulier que présentent nos séances annuelles de Pâques où nos constructeurs rivalisent pour montrer les appareils qui représentent, dans toutes les branches de la Physique, les nouvelles conquêtes de la Science.

Cette séance a eu, cette année, son succès habituel, malgré la

redoutable concurrence qui lui était faite par l'Exposition ouverte par la Société des Électriciens dans les salles de l'Observatoire.

Nous devons remercier surtout à ce sujet MM. Sautter et Lemonnier, ainsi que MM. Weyher et Richemond, qui ont gracieusement mis à notre disposition les moyens d'éclairer brillamment les salles de la Société d'Encouragement.

Cette année, si, comme on doit l'espérer, nous pouvons mettre à contribution les nouvelles salles que cette Société prépare, nous pourrons donner aux installations de notre séance annuelle une extension qui est devenue nécessaire.

Nous pouvons espérer aussi que la construction des nouveaux locaux de la Société d'Encouragement nous permettra d'obtenir, pour nos collections de livres, une installation plus convenable qui ajoutera aux éléments de succès de notre Société.

En prenant, sous ces auspices, la présidence que vos suffrages m'ont conférée, et après avoir adressé mes souhaits de bienvenue au Vice-Président et au Secrétaire que vos votes viennent de m'adjoindre, je vous demande la permission de vous renouveler les remerciements que je vous ai déjà adressés pour l'honneur que vous me faites et qui s'applique, en même temps, à l'armée qui est représentée parmi vous par des Membres de plus en plus nombreux. J'espère que vous voudrez bien me continuer la bienveillance que vous m'avez témoignée dans les séances où j'ai dû déjà remplacer notre Président absent.

---

## *Sur la théorie de la gamme;*

par M. Paul Robin.

Je suis d'abord obligé de rappeler l'origine de la gamme.

Les anciens avaient déjà déterminé les rapports $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ des longueurs des tuyaux donnant des sons à des distances d'octave, de quinte et de quarte. Le P. Mersenne soupçonna que ces rapports indiquaient les nombres relatifs des vibrations sonores et eut la première idée des harmoniques.

Sauveur (1701) étudia ces harmoniques et commença la théorie

actuelle de la gamme complétée en 1826 par Delezenne dans le *Recueil de la Société des sciences de Lille.*

D'après cette théorie les notes de la gamme se forment en ramenant les *cinq* premiers harmoniques dans une même octave par des multiplications ou divisions par une puissance convenable de 2, et en agissant de même sur les harmoniques de ces sons considérés comme fondamentaux.

C'est la gamme qu'ont adoptée tous les Traités de Physique. Les notes y sont représentées par les rapports de vibrations

$$1, \quad \frac{9}{8}, \quad \frac{5}{4}, \quad \frac{4}{3}, \quad \frac{3}{2}, \quad \frac{5}{3}, \quad \frac{15}{8}, \quad 2.$$

Les rapports de deux de ces rapports voisins confondus avec leurs logarithmes sous le nom d'*intervalles* sont de trois sortes bizarrement appelés *ton majeur, ton mineur,* et *demi-ton*, lequel n'est moitié du premier ni du second.

Depuis plus de quarante ans, Émile Chevé, dont plusieurs de nous ont suivi les admirables leçons, et ses disciples démontrent dans leurs cours, à l'aide de deux expériences fort simples :

1° Que la gamme, telle que la chantent ceux que le *consensus populi* déclare chanter juste, ne contient que deux sortes d'intervalles, la seconde majeure et la seconde mineure;

2° Que cette dernière est plus petite que la moitié de la première.

Ces deux faits sont en contradiction avec la théorie généralement admise.

Beaucoup des élèves de M. Chevé ont cherché et trouvé sans peine la rectification nécessaire à la théorie, mais c'est Ritter qui l'a, le premier, parfaitement développée dans le tome VIII des *Mémoires de l'Institut genevois.*

Dans son travail il refait la théorie de la gamme en n'employant que les trois (ou quatre) premiers harmoniques et négligeant le cinquième qui fournit un *mi* trop bas. La superposition des quintes et la réduction d'une partie de leur série dans une même octave donne la vraie gamme, celle des musiciens, telle que l'enseigne l'école nouvelle.

Les nombres de vibrations, longueurs de cordes, etc., calculés

d'après ces données, diffèrent de la gamme des Traités de Physique pour les notes *mi, la, si*.

Nous verrons tout à l'heure si les différences parfois considérées comme négligeables le sont réellement.

Faisons d'abord quelques remarques sur le *mi* trop bas donné par le cinquième harmonique.

Comme l'établit Ritter, ce *mi*, très faible par rapport aux harmoniques précédents, et surtout au son fondamental, est dans de mauvaises conditions pour leur être comparé. De plus, si le *mi* est donné par une corde vibrante, celle-ci formant, pour donner les harmoniques précédents, une courbe à double courbure assez compliquée, est plus tendue que si elle était droite et son *mi* est plus rapproché, peut-être l'égal du vrai *mi*.

Le cinquième harmonique est nettement employé par la classe des instruments à piston; mais d'abord il est certain que ces instruments n'obéissent pas rigoureusement à la loi simple des vibrations dans les tuyaux courts relativement à leurs diamètres; on sait que l'instrumentiste peut par un certain pincement de lèvres modifier dans de petites limites la hauteur des sons, qu'avec ces instruments, prétendus à sons fixes, il y a des gens qui jouent faux, tandis que ceux qui sont réellement musiciens et n'attendent pas de leur instrument la traduction plus ou moins fidèle de la musique écrite, lisent d'abord celle-ci, savent ce que l'instrument doit donner et s'habituent à corriger ses imperfections naturelles.

C'est surtout avec les dièses et les bémols que la pratique de tous les musiciens et les indications de la théorie de Delezenne atteignent des différences telles qu'elles frappent l'oreille la moins sensible.

Rappelons d'abord les définitions si clairement données pour la première fois, en 1844, par E. Chevé, dans sa théorie musicale et généralement répétées sans indications d'origine par les solfèges publiés sans date depuis cette époque.

On appelle *dièse* d'une note son remplaçant aigu, faisant avec la note supérieure le même air que le *si* avec l'*ut*, *bémol* le remplaçant grave faisant avec la note inférieure le même effet que le *fa* avec le *mi*.

Partant de ces définitions, on trouve que les notes dites altérées sont très différentes dans les deux gammes : dans celle des physi-

ciens, le bémol d'une note est plus haut que le dièse de l'inférieure; dans la gamme réelle, c'est le contraire.

La méthode de Chevé contient un exercice qui conduit les élèves à chanter juste : *ut*, $ré^b$, $ut^d$, *ré*, $mi^b$, etc., et l'on sent parfaitement cette série ascendante. Depuis que l'éminent théoricien et professeur a attiré l'attention sur ce point, les Traités musicaux nouveaux donnent à peu près tous le bémol plus bas que le dièse.

Mais ce n'est pas tout. D'autres physiciens, avec P. Desains, trouvent le dièse non en prenant pour point d'appui la note supérieure, le bémol non en prenant pour point d'appui la note inférieure, mais en multipliant ou divisant par $\frac{25}{24}$ le nombre des vibrations de la note à altérer, pour transformer, disent-ils, le demi-ton en ton mineur. Cela donne pour $ut^d$, $ré^b$, $fa^d$, $sol^b$, $la^d$, $si^b$, des valeurs très différentes de celles qu'obtiennent les physiciens suivant Delezenne.

La gamme diatonique des musiciens est produite par 7 quintes superposées et contient 5 secondes majeures, 2 mineures. La période de la succession peut être exprimée par le symbole $M_2\,m$, $M_3\,m$.

Les gammes chromatiques sont produites par 12 quintes superposées et contiennent 5 secondes chromatiques et 7 mineures. Ces intervalles se succèdent dans le même ordre dans les gammes par dièses et par bémols qui ne diffèrent que par les points de départ. La période de cette succession peut être exprimée par le symbole $(cm)_2\,m(cm)_3\,m$.

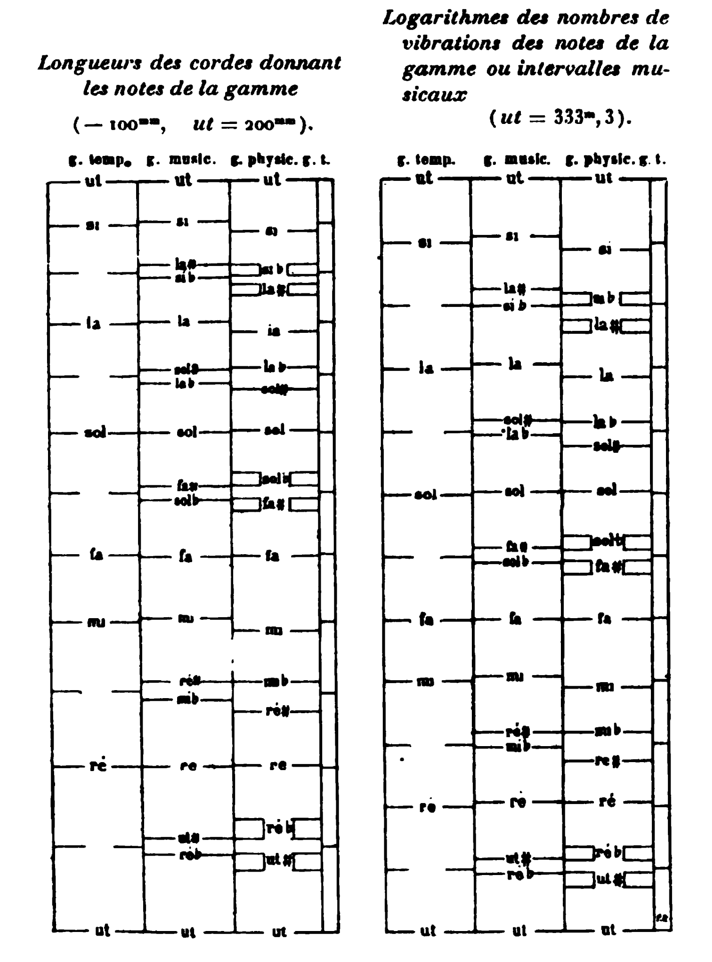
La gamme enharmonique est produite par 17 quintes superposées et contient 12 secondes mineures et 5 secondes enharmoniques (je me garde d'employer le mot *comma* auquel on a donné trop de sens différents). La période de cette succession peut être exprimée par le symbole $m(emm)_2\,m(emm)_3$.

Si l'on voulait, comme dans certains Traités, prendre plus de 17 quintes, afin d'obtenir les $mi^d$, $si^d$, $ut^b$ et $fa^b$, on introduirait de nouveaux intervalles, et l'analogie obligerait à introduire tous les semblables, ce qui produirait une série nouvelle beaucoup plus complexe, sans application pratique actuelle et inutile à étudier ici.

Rien de pareil à cette simplicité dans la gamme des physiciens où chaque gamme contient un enchevêtrement de 3 à 5 intervalles

différents sans intérêt à dénombrer et à classer. Et c'est cependant la simplicité des rapports qui avait séduit ses créateurs et qui charme ceux qui l'admettent encore!

J'ai, dans un Tableau numérique, complété pour la gamme tempérée et pour celles des musiciens et des physiciens les nombres des vibrations, les longueurs de cordes et les logarithmes des nombres de vibrations, qui sont les vrais intervalles musicaux. J'ai reporté ces derniers, ainsi que les longueurs de cordes, sur le diagramme ci-joint.




*Longueurs des cordes donnant les notes de la gamme*

(— 100mm, *ut* = 200mm).

*Logarithmes des nombres de vibrations des notes de la gamme ou intervalles musicaux*

(*ut* = 333m,3).

## Comparaison des diverses gammes.

| | Gamme tempérée. | | | Gamme des musiciens. | | | | | Gamme des physiciens. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nombres de vibrations. | Logarithmes des vibrations ou intervalles. | Longueurs des cordes. | Nombres de vibrations. | | | Logarithmes des vibrations ou intervalles. | Longueurs des cordes. | Nombres de vibrations. | | | Logarithmes des vibrations ou intervalles. | Longueurs des cordes. | |
| *Ut* | 20000 | 30103 | 50000 | 2 | 2 | 20000 | 30103 | 50000 | 2 | 2 | 20000 | 30103 | 50000 | *Ut* |
| *Si* | 18877 | 27595 | 52973 | $\frac{3^5}{2^7}$ | $\frac{243}{128}$ | 18984 | 27839 | 52675 | $\frac{3.5}{2^3}$ | $\frac{15}{8}$ | 18750 | 27300 | 53333 | *Si* |
| | | | | | | | | | $\frac{3^2}{3}$ | $\frac{9}{5}$ | 18000 | 25527 | 55556 | *Si*♭ |
| | | | | $\frac{3^{10}}{2^{15}}$ | $\frac{59049}{32768}$ | 18020 | 25576 | 55493 | | | | | | |
| | | | | | | | | | $\frac{2^4}{3^2}$ | $\frac{16}{9}$ | 17778 | 24988 | 56250 | |
| *La*♯ *Si*♭ | 17818 | 25087 | 56123 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | $\frac{3^2.5^2}{2^7}$ | $\frac{225}{128}$ | 17578 | 24497 | 56889 | *La*♯ |
| | | | | $\frac{2^4}{3^2}$ | $\frac{16}{9}$ | 17778 | 24988 | 56250 | | | | | | |
| | | | | | | | | | $\frac{5^3}{3^2.2^3}$ | $\frac{125}{72}$ | 17361 | 23957 | 57600 | |
| *La* | 16818 | 22578 | 59460 | $\frac{3^3}{2^4}$ | $\frac{27}{16}$ | 16875 | 22724 | 59259 | $\frac{5}{3}$ | $\frac{5}{3}$ | 16667 | 22186 | 60000 | *La* |
| | | | | $\frac{3^8}{2^{12}}$ | $\frac{6561}{4096}$ | 16018 | 20461 | 62430 | $\frac{2^3}{5}$ | $\frac{8}{5}$ | 16000 | 20412 | 62500 | *La*♭ |
| *Sol*♯ *La*♭ | 15874 | 20068 | 62996 | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | *Sol*♯ |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Fa*♯ *Sol*♭ | 14142 | 15051 | 70710 | $3^6/2^9$ | $\frac{729}{512}$ | 14238 | 15345 | 70233 | $2^2.3^2/5^2$ | $\frac{36}{25}$ | 14400 | 15836 | 69444 | *Sol*♭ |
| | | | | | | | | | $2^6/3^2.5$ | $\frac{64}{45}$ | 14222 | 15293 | 70313 | |
| | | | | $2^{10}/3^6$ | $\frac{1024}{729}$ | 14047 | 14758 | 71182 | $3^2.5/2^5$ | $\frac{45}{32}$ | 14063 | 14808 | 71111 | *Fa*♯ |
| | | | | | | | | | $5^2/2.3^2$ | $\frac{25}{18}$ | 13889 | 14267 | 72000 | |
| *Fa* | 13348 | 12543 | 74915 | $2^2/3$ | $\frac{4}{3}$ | 13333 | 12493 | 75000 | $2^2/3$ | $\frac{4}{3}$ | 13333 | 12493 | 75000 | *Fa* |
| *Mi* | 12599 | 10034 | 79370 | $3^4/2^6$ | $\frac{81}{64}$ | 12656 | 10230 | 79012 | $5/2^2$ | $\frac{5}{4}$ | 12500 | 09791 | 80000 | *Mi* |
| *Ré*♯ *Mi*♭ | 11892 | 07526 | 84090 | $3^9/2^{14}$ | $\frac{19683}{16384}$ | 12014 | 07969 | 83280 | $2.3/5$ | $\frac{6}{5}$ | 12000 | 07918 | 83333 | *Mi*♭ |
| | | | | $2^5/3^3$ | $\frac{32}{27}$ | 11852 | 07379 | 84375 | $3.5^2/2^6$ | $\frac{75}{64}$ | 11719 | 06889 | 85333 | *Ré*♯ |
| *Ré* | 11225 | 05017 | 89090 | $3^2/2^3$ | $\frac{9}{8}$ | 11250 | 05115 | 88889 | $3^2/2^3$ | $\frac{9}{8}$ | 11250 | 05115 | 88889 | *Ré* |
| *Ut*♯ *Ré*♭ | 10595 | 02509 | 94387 | $3^7/2^{11}$ | $\frac{2187}{2048}$ | 10679 | 02852 | 93644 | $3^3/5^2$ | $\frac{27}{25}$ | 10800 | 03342 | 92593 | *Ré*♭ |
| | | | | | | | | | $2^4/3.5$ | $\frac{16}{15}$ | 10667 | 02800 | 93750 | |
| | | | | $2^8/3^5$ | $\frac{256}{243}$ | 10535 | 02263 | 94922 | $3^3.5/2^7$ | $\frac{135}{128}$ | 10547 | 02313 | 94815 | *Ut*♯ |
| | | | | | | | | | $5^2/2^3.3$ | $\frac{25}{24}$ | 10417 | 01774 | 96000 | |
| *Ut* | 10000 | 00000 | 100000 | 1 | 1 | 10000 | 00000 | 100000 | 1 | 1 | 10000 | 00000 | 100000 | *Ut* |

Dans le Tableau logarithmique des intervalles j'ai pris pour unité 333$^{m}$,3. La corde entière pour le Tableau des longueurs est $\frac{1}{5}$ de mètre.

Voici les remarques auxquelles donne lieu le simple examen de l'un ou de l'autre de ces Tableaux :

1° La gamme tempérée, dont la pratique est imposée par les instruments à sons fixes, diffère beaucoup moins de la gamme des musiciens que de celle des physiciens.

2° Les différences entre les gammes des physiciens et celle des musiciens, très notables pour *mi, la, si*, et pour presque toutes les notes altérées, s'exagèrent surtout pour *ré*$^{d}$, *sol*$^{d}$, *la*$^{d}$ et atteignent presque un demi-ton.

Les vérifications expérimentales de la justesse de la seule gamme des musiciens n'ont pas manqué. Ritter cite les expériences faites en 1857 par le D$^{r}$ Möhring et le violoniste Meyer. Le physicien marquait sur la touche du violon les places où le virtuose mettait ses doigts. Les mesures prises *ensuite* donnent à moins d'un demi-centième les longueurs indiquées par la théorie nouvelle.

MM. Mercadier et Cornu ont transmis les vibrations du violon de Léonard à un appareil inscripteur et sont arrivés sensiblement pour la mélodie aux nombres donnés par la théorie.

Je regrette qu'ils soient arrivés pour l'harmonie à des conclusions différentes; il doit y avoir eu quelque erreur d'opération. L'harmonie est en effet produite par des mélodies simultanées et je ne puis comprendre que des chanteurs, des violonistes produisant juste leur partie isolée, la modifient quand leurs partenaires chantent ou jouent avec eux.

Ce dernier point réservé et à revoir selon moi, ces deux séries expériences précédentes sont excellentes, en ce qu'elles écartent tout préjugé de l'opérateur. J'ai pensé cependant qu'une vérification *a posteriori* accessible à tous serait bienvenue.

Je présente un appareil contenant 18 fils métalliques de même diamètre (n° 26), de même longueur (333$^{mm}$,3), tendus par le même poids arbitraire (684$^{gr}$). Ils donnent évidemment le même son. Deux sillets mobiles peuvent être placés au-dessous et réduisent es longueurs vibrantes des fils, l'un aux dimensions données par

l'ancienne théorie, l'autre aux dimensions données par la nouvelle. On a ainsi une petite harpe dont l'accord reste constant et indépendant des erreurs individuelles. Chacun peut en jouer avec l'un ou l'autre sillet et comparer les effets musicaux produits.

J'ajouterai, pour terminer, quelques mots sur les gammes approchées.

La gamme tempérée, à tempérament égal, produite par l'intercalation de 11 moyens géométriques entre 1 et 2, donne généralement une très bonne approximation, excepté pour *ré*$^d$ et *la*$^d$.

Aimé Paris professait dans ses cours que la seconde majeure valait $2\frac{1}{2}$ secondes mineures et faisait une expérience qui le démontrait avec assez d'approximation. M. Vignon, l'un de ses élèves, publia vers 1860 le calcul complet, d'après cette hypothèse, d'une gamme approchée formée par l'intercalation de 28 moyens géométriques entre 1 et 2.

Si l'on calcule les réduites successives du rapport $\frac{5115}{2263}$ de la seconde majeure à la mineure, on trouve

$$2, \quad \frac{7}{3}, \quad \frac{9}{4}, \quad \ldots.$$

Sans que l'origine en ait été précédemment indiquée à ma connaissance, la gamme approchée donnée par cette dernière réduite, qui répond aux oreilles les plus exigeantes, est adoptée par un grand nombre de musiciens. M. Pauraux, inspecteur du chant de la Ville de Paris, en a fait le point de départ d'un appareil ingénieux que l'on peut voir au Musée pédagogique et qui matérialise parfaitement la théorie des gammes des divers tons.

---

## *Sur la propagation du son dans un tuyau cylindrique.*

Note de MM. VIOLLE et VAUTIER.

Au mois de septembre dernier, la municipalité de Grenoble ayant bien voulu mettre à notre disposition la conduite souterraine destinée à amener dans la ville les eaux de Rochefort, nous avons profité de cette occasion pour reprendre l'étude de la propagation du son dans un tuyau cylindrique, en considérant particulièrement

les points omis ou laissés en litige par Regnault dans son beau travail sur ce sujet.

La portion de la conduite que nous avons utilisée se compose de deux tuyaux parallèles de $0^m,70$ de diamètre, présentant en ligne droite une longueur L de $6^{km},350$ environ. Ces deux tuyaux pouvaient être employés isolément, ouverts ou fermés; on pouvait aussi les réunir à leurs extrémités par un coude demi-circulaire de même diamètre intérieur que les tuyaux et de $70^{cm}$ de rayon.

M. Mascart avait eu la bonté de nous prêter les appareils qui avaient servi autrefois à Regnault. Nous les avons utilisés sans y changer autre chose que les membranes, que nous avons prises beaucoup plus minces et plus sensibles. Nous avons aussi employé avantageusement les tambours manométriques de M. Marey. Enfin l'oreille nous a permis diverses constatations.

L'onde sonore a été produite au moyen de pistolets ou d'instruments de musique. Nous nous bornerons aujourd'hui à indiquer les principaux résultats obtenus avec le pistolet.

Quand on tire un coup de pistolet à l'une des extrémités de la conduite, un observateur placé à cette extrémité entend un son qui se prolonge en paraissant s'éloigner et en présentant une série de roulements marqués. Au bout de $18^s,6$ le son parvient au coude, où il présente les mêmes caractères, atténués : c'est, pour l'oreille, à l'intensité près, comme un train qui, arrivant brusquement par l'une des branches, s'engouffrerait dans l'autre. Après $37^s,3$, le son a parcouru $12^{km},700$ : il est encore très nettement perceptible à l'oreille, qui entend un bruit sourd et en apparence unique, semblable à celui d'une détonation lointaine en plein air ; en même temps qu'on perçoit le son, on sent un fort coup de vent. Plus loin, cette poussée d'air est la seule chose que l'on perçoive : elle est encore parfaitement sensible après $50^{km}$. L'énergie de la poussée est supérieure à celle de la plupart des sons musicaux que l'oreille perçoit sans peine, et cependant on n'entend plus absolument rien.

Si l'on substitue à l'oreille un tambour à levier de M. Marey et qu'on inscrive les mouvements du levier en même temps que ceux d'un diapason chronométrique ($ut_3 = 256^{vd}$), on obtient pour chacune des distances 0, 2L, 4L, 6L la courbe des pressions de l'air. A la station de départ, la courbe monte brusquement jusqu'à

une certaine hauteur, à partir de laquelle elle s'abaisse en présentant une série d'oscillations d'amplitude décroissante, et ce n'est qu'au bout de deux secondes environ que le calme est complètement rétabli au lieu de départ. A la distance de 2L, la courbe, après s'être élevée rapidement à une certaine hauteur (sensiblement moindre qu'au départ), redescend, presque sans oscillations, et regagne lentement le niveau primitif. Aux distances 4L et 6L, la courbe, tout en s'aplatissant de plus en plus, conserve le même aspect général, les oscillations disparaissant complètement.

Ces faits sont d'accord avec ceux qu'a révélés l'oreille : l'ébranlement sonore se fond graduellement en une seule onde sans action acoustique.

Les graphiques se prêtent d'ailleurs à des mesures précises. On peut relever les temps au $\frac{1}{2560}$ de seconde et les pressions au $\frac{1}{10}$ de millimètre (au moyen d'expériences spéciales, on a déterminé en millimètres d'eau les pressions correspondant aux différents écarts du levier). On a trouvé ainsi :

| Chemin parcouru. | Temps employé. | Époque du maximum. | Grandeur du maximum. | Longueur de l'onde. |
|---|---|---|---|---|
| | s | s | mm | s |
| 0....... | 0 | 0,029 | 15,8 | 2,25 |
| 2L...... | $T' =$ 37,259 | $T' + 0,188$ | 6,6 | 2,8 |
| 4L...... | $T'' = T' + 37,337$ | $T'' + 0,305$ | 1,8 | 3 |
| 6L...... | $T''' = T'' + 37,383$ | $T''' + 0,367$ | 0,6 | » |

On voit que le maximum recule à l'intérieur de l'onde, tandis que celle-ci progresse.

La longueur totale de l'onde ne varie pas beaucoup ; les chiffres inscrits au Tableau ne doivent être regardés que comme approximatifs, à cause de la difficulté de juger de la fin de l'onde.

Les pressions décroissent sensiblement en progression géométrique, les chemins croissant en progression arithmétique. Si, en effet, on suppose que chaque parcours 2L (y compris la réflexion qui le termine) réduit la pression au $\frac{1}{3}$ de sa valeur, on a la série 16,2, 5,4, 1,8, 0,6, qui diffère peu des nombres observés, le premier de ces nombres 15,8 n'étant pas très sûr, et le deuxième 6,6 devant être multiplié par un coefficient $r < 1$. L'amplitude du mouvement vibratoire peut donc être représentée par $ae^{-\alpha x}$,

le coefficient $\alpha$ différant peu de celui que donne l'équation

$$e^{-\alpha 12700} = \tfrac{1}{3},$$

d'où

$$\alpha = 8{,}62.10^{-5}.$$

D'après MM. von Helmholtz et Kirchhoff, on doit avoir, en effet,

$$a' = ae^{-\alpha x},$$

$\alpha$ étant égal à $\gamma\frac{\sqrt{\pi n}}{2ar}$, ce qui donne ici

$$\alpha = 8{,}31.10^{-4}.$$

L'affaiblissement observé (même accru de l'effet de la réflexion au bout du chemin 2L) est donc moindre que l'affaiblissement théorique dans un tuyau étroit.

Si nous considérons enfin les temps employés par le front de l'onde à parcourir une première, une deuxième, une troisième fois le chemin 2L, nous pouvons les comparer aux temps mesurés dans les mêmes circonstances au chronographe Regnault, avec une membrane extrêmement sensible, à contact électrique. Nous avons ainsi :

| | Temps mesuré avec | |
|---|---|---|
| | le tambour à levier. | la membrane à contact. |
| Premier parcours....... | $37^{s},259$ | $37^{s},251$ |
| Deuxième parcours...... | » 337 | » 334 |
| Troisième parcours...... | » 383 | » 384 |

L'accord entre les nombres obtenus par les deux procédés montre que la grandeur et la disposition de la membrane flexible n'ont aucune influence appréciable, quand on emploie des membranes suffisamment sensibles. Il était dès lors probable que l'inertie de ces membranes était très faible. L'expérience directe a montré, en effet, que l'influence de l'inertie est, dans tous les cas, inférieure à $0^{s},01$ ; et comme, dans les mesures de temps, la différence des retards entre seule, la correction à effectuer est très petite. La vitesse de propagation paraît donc décroître en même temps que l'intensité. Nous reviendrons sur ce point dans une prochaine Communication.

## SÉANCE DU 5 FÉVRIER 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 15 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Chervet, Professeur au lycée Henri IV.
Joubin, agrégé-préparateur au Collège de France.
Meslin, Professeur de Physique au lycée de Poitiers.
Noë (Charles), Constructeur d'instruments de Physique à Paris.
Philippon (Paul), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement à la Sorbonne.
Villars, Professeur au lycée de Bordeaux.

M. le Président déclare qu'il y a lieu de nommer un membre du Conseil en remplacement de M. Wolf, élu vice-Président. M. Cael est élu membre du Conseil pour l'année 1886.

M. le Président annonce l'offre faite par M. Janssen d'une somme de 50 francs pour aider à la publication des Mémoires. Il remercie, au nom de la Société, M. Janssen de sa généreuse initiative et exprime l'espoir que son exemple trouvera des imitateurs.

M. Lodge, professeur à Liverpool, a imaginé, il y a quelques mois, des expériences pour démontrer les effets inattendus d'une décharge électrique de haute tension, produite par les machines électriques de Tœpler-Voss, sur des poussières et des fumées de toute nature mises en suspension dans un récipient. Ces expériences ont trouvé leur application immédiate dans l'industrie métallurgique en Angleterre, pour la condensation des fumées et des poussières de plomb. MM. Walker, Parker et C^ie se servent de ce procédé dans leur usine.

M. Hempel présente un appareil de démonstration extrêmement simple, permettant de répéter dans un cours ces nouvelles expériences. Un récipient en verre, percé latéralement pour le passage des peignes qui laissent écouler l'électricité, est placé sur un socle en bois à trois pieds et muni d'une ouverture centrale. Au-dessous du socle se trouve une cheminée en tôle pour la production d'une fumée quelconque; le récipient est surmonté, en outre, d'un petit tuyau pour activer le tirage.

Pour faire l'expérience, on met en communication les deux peignes du récipient par des fils conducteurs d'une machine Tœpler-Voss, ou bien encore avec les deux pôles d'une bonne machine à frottement.

On introduit dans la cheminée du papier nitré ou de l'amadou allumée, de la fumée de tabac ou bien encore des vapeurs de composés chimiques, chlorhydrate d'ammoniaque, etc. Cette fumée monte dans un récipient, et

lorsqu'il en est entièrement rempli, on met la machine électrique en action; immédiatement après, la fumée se met à tourbillonner, se condense et disparaît complètement.

L'expérience est répétée devant la Société.

M. D'ARSONVAL expose une méthode optique pour la mesure des faibles déviations angulaires.

Ce procédé est surtout applicable aux appareils de mesure électrique.

Il consiste essentiellement à renverser le procédé ordinaire de lecture avec la lunette et le miroir plan (procédé de Weber ou de Poggendorff).

Au foyer conjugué de l'objectif qui donne d'habitude l'image de l'échelle plus petite que l'objet, M. d'Arsonval place une échelle transparente photographiée divisée en dixièmes et vingtièmes de millimètre. L'objectif de la lunette donne une image agrandie de cette échelle, image qui, après avoir été réfléchie par le miroir du galvanomètre, vient se former au-dessus de cet objectif. On l'observe et on l'agrandit encore en l'examinant avec l'oculaire, qui porte comme d'habitude un réticule servant de repère.

Au lieu d'un miroir plan, difficile à obtenir, M. d'Arsonval emploie pour le galvanomètre un miroir concave à long foyer. Pour éviter la double image, le miroir n'est pas à faces parallèles; le rayon de courbure de la face antérieure est plus petit que celui de la face postérieure, qui seule est argentée. On obtient ainsi des images d'une netteté et d'une pureté parfaites.

Le tout a été disposé par M. Lutz sur un pied, de façon à pouvoir transformer instantanément l'appareil soit en une échelle transparente Carpentier, soit en une lunette Poggendorff.

On a ainsi réuni dans le même appareil tous les procédés de lecture à l'aide de l'échelle et du miroir.

M. d'Arsonval présente ensuite des dispositifs galvanométriques nouveaux.

Le premier dispositif a pour but de parer au déplacement du zéro du galvanomètre sous l'influence du magnétisme terrestre.

Pour arriver à ce résultat, M. d'Arsonval place à $0^{m},50$ environ du miroir du galvanomètre un second miroir porté lui-même sur une aiguille aimantée mobile autour d'un fil de cocon. Les surfaces réfléchissantes des miroirs sont en face l'une de l'autre. On observe l'image de l'échelle divisée après qu'elle s'est réfléchie sur les deux miroirs.

Les variations du magnétisme terrestre affectent également les deux miroirs et les font tourner du même angle. Or, par suite de leur disposition même, la déviation du rayon lumineux se trouve annulée si les miroirs tournent du même angle.

L'appareil ne peut donc être affecté que par la rotation du miroir du galvanomètre sous l'influence d'un courant, c'est-à-dire précisément par la déviation qu'il s'agit de mesurer. On a ainsi un zéro fixe, à la condition, bien entendu, de se servir de la boussole des tangentes, c'est-à-dire d'un galvanomètre non compensé.

Le second dispositif, appelé par M. d'Arsonval *thermo-radiomètre,* est destiné à la mesure de la chaleur rayonnante pour remplacer l'appareil de Melloni.

Il se compose essentiellement d'un galvanomètre apériodique du même auteur dans lequel on remplace le cadre galvanométrique mobile par un cadre formé de deux métaux (antimoine-bismuth, par exemple, ou cuivre-maillechort). On suspend ce cadre dans le champ magnétique par un fil de cocon, de façon que les soudures soient sur l'axe de rotation.

Une des soudures (l'inférieure) est garantie contre le rayonnement ; la supérieure reçoit l'influence de la source.

L'équipage est orienté soit par un brin de fil de fer, soit par une suspension bifilaire. La moindre différence de température des soudures produit un courant qui fait dévier l'équipage noyé dans le champ magnétique. Cet instrument est donc à la fois une pile thermo-électrique et un galvanomètre. Il est extrêmement sensible et absolument apériodique. La lecture de la déviation se fait au moyen d'un miroir porté par l'équipage. La capacité calorifique et le poids de l'instrument sont ainsi réduits à leur minimum.

Enfin M. d'Arsonval présente un modèle de galvanomètre Wiedemann construit par la maison de Branville sur ses indications.

M. d'Arsonval a modifié plusieurs points de cet appareil et entre autres l'équipage magnétique, qui est à volonté astatique. Il se compose de deux anneaux aimantés situés dans le même plan l'un au-dessus de l'autre. L'anneau supérieur, qui est un peu plus fort, peut tourner autour de son centre de figure dans le plan des deux aimants.

On modifie ainsi le bras de levier du couple terrestre et l'on arrive à un astatisme parfait.

Cet instrument est de plus absolument apériodique, il va prendre sa position d'équilibre sans oscillations. Enfin, grâce à la mobilité des bobines, l'instrument devient universel. Il peut mesurer des courants variant de $\frac{1}{10000}$ de volt à 100 volts et de $\frac{1}{100000}$ d'ampère à 100 ampères et au-dessous avec un jeu de bobines approprié.

De plus il est différentiel, ce qui est très commode pour la mesure des résistances. D'après M. d'Arsonval, cet instrument est de tous les galvanomètres à aimant mobile le plus commode et le plus pratique.

M. Le Chatelier décrit à ce propos un dispositif qu'il emploie pour augmenter la précision des mesures galvanométriques. Il remplace l'échelle fixe par un micromètre à fils mobiles portant deux fils croisés sur un angle très petit et rendus visibles à l'aide d'un éclairage ordinaire. Une loupe grossissant cinq fois permet d'observer le micromètre. La lecture se fait en projetant l'une au-dessus de l'autre l'intersection des fils et celle de leurs images et amenant à la forme symétrique du losange le parallélogramme ainsi constitué. Cette disposition permet de lire le $\frac{1}{100}$ de millimètre avec l'éclairage ordinaire et les miroirs habituels de galvanomètres.

M. Cornu, au sujet de la Communication de M. d'Arsonval, signale l'importance que présente pour la facilité de la lecture d'une échelle l'écartement angulaire des divisions. Il y a lieu, pour chaque observateur particulier, de choisir expérimentalement l'espacement à donner aux traits pour se trouver dans les conditions les plus favorables.

M. P. Barbier présente une nouvelle disposition de téléphone à laquelle il donne le nom de *bouton-téléphone*.

Elle permet de remplacer, dans une installation ordinaire de sonneries électriques, les boutons d'appel par des boutons téléphones et, en même temps que l'on sonne quelqu'un, d'entrer en conversation avec la personne sonnée.

---

## *Galvanomètres apériodiques de grande sensibilité;*

par M. d'Arsonval.

Les différents appareils que je vais décrire ont été combinés pour l'étude de l'électricité et de la chaleur d'origine animale. Pour ce genre de recherches, il faut des appareils d'une extrême sensibilité et leurs indications doivent en même temps être très rapides; ils peuvent donc être d'un usage général en électrométrie.

Tout appareil électrométrique se compose de deux parties distinctes : 1° le galvanomètre proprement dit; 2° l'appareil qui sert à mesurer la déviation angulaire du galvanomètre.

### Échelle micrométrique pour la mesure des déviations angulaires.

Cet appareil permet de mesurer avec une grande précision les plus faibles déviations angulaires. C'est là un double avantage : 1° parce que les indications sont beaucoup plus rapides et 2° parce que les déviations sont proportionnelles aux intensités.

La méthode la plus précise et la plus généralement employée est celle de la lunette et du miroir ou méthode de Poggendorff.

Ce procédé consiste, on le sait, à fixer un miroir plan M (*fig.* 1) à la partie mobile du galvanomètre et à viser l'image d'une échelle divisée E à travers une lunette dont O est l'objectif et L l'oculaire. On obtient ainsi au foyer conjugué de la lentille O une image réelle I plus petite que l'objet, on grossit cette image par l'oculaire L qui porte un réticule vertical servant de repère pour le

pointage. La sensibilité devrait être proportionnelle à la distance OM qui sépare l'échelle du miroir; il n'en est pas ainsi dans la pratique, parce que l'image I devient de plus en plus petite quand la distance OM augmente. Il faudrait, pour réaliser cette condition, que le grossissement de l'oculaire L augmentât proportionnellement à

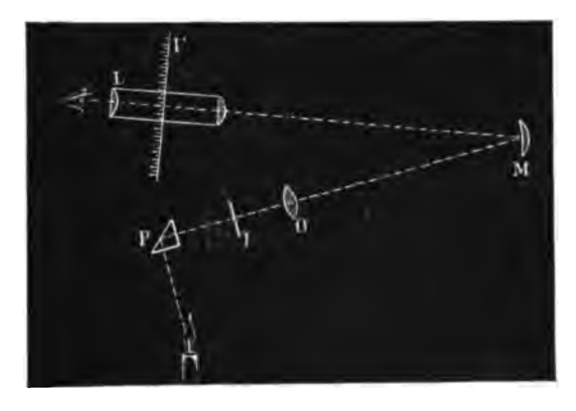
Fig. 1.




la distance OM. Mais alors l'image devient confuse, parce qu'il est très difficile d'obtenir un miroir léger parfaitement plan.

Pour supprimer le défaut, j'ai renversé le problème; en I je mets une échelle transparente photographiée sur verre et divisée en vingtièmes de millimètre (*fig.* 2). Cette échelle est éclairée par

Fig. 2.




transparence à l'aide d'un prisme P ou d'un miroir plan. La lentille O en donne une image agrandie qui, après réflexion sur le miroir M, vient se former en I', où on la grossit encore à l'aide d'un oculaire négatif L muni d'un réticule vertical pour le pointage.

J'ai remplacé le miroir plan M, difficile à obtenir, par un miroir concave argenté sur sa face postérieure.

Les miroirs concaves à *faces parallèles* me donnaient des images multiples qui rendaient l'observation impossible, à cause du fort grossissement demandé à l'appareil optique.

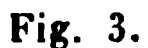


Fig. 3.




J'ai tourné cette difficulté en prenant soit un ménisque convergent, soit une petite lentille plan convexe argentée sur la face postérieure.

Le tout forme ainsi avec la lentille O un miroir concave donnant en I' une image parfaite pouvant supporter des grossissements de 100 diamètres.

On comprend, sans que j'insiste, que, par ce mécanisme, *la*

*sensibilité de l'appareil est augmentée dans la proportion du grossissement.*

Il en résulte qu'on peut lire avec une grande précision les plus faibles déviations angulaires, ce qui rend le galvanomètre à la fois très rapide et à indications proportionnelles.

La *fig.* 3 donne une vue perspective de cette échelle.

L'échelle micrométrique est entre le miroir éclaireur et la lentille L. L'oculaire grossissant se trouve au-dessus, comme on le voit sur la figure.

L'échelle micrométrique et l'oculaire sont mobiles. En remplaçant cette échelle micrométrique par un simple fil vertical et l'oculaire par une échelle transparente divisée sur celluloïde (figurée en pointillé sur le dessin), on transforme l'appareil en une échelle transparente de Carpentier, commode lorsqu'on n'a pas besoin de toute la sensibilité de l'appareil.

La lentille L, placée en avant de l'échelle micrométrique, joue un double rôle; elle augmente la clarté de l'image, et, de plus, comme elle est mobile sur la tringle qui la porte, on change le grossissement de l'appareil en la faisant glisser.

Le système étant placé à $1^m,20$ du galvanomètre, on apprécie un déplacement de l'image égal à $\frac{1}{10}$ de millimètre, soit une déviation angulaire de $\frac{1}{100}$ de degré du cercle.

C'est M. Lutz, l'opticien bien connu, qui a construit cet appareil sur mes indications. *Ce mode de lecture n'est applicable qu'aux appareils apériodiques.*

### Galvanomètres apériodiques.

Ces instruments sont de deux sortes :

1° Les galvanomètres à aimant mobile;

2° Les galvanomètres à circuit mobile.

C'est en 1880 que j'ai introduit, en électrométrie, les galvanomètres à circuit mobile. Ces appareils ont trois avantages bien précieux : 1° ils sont absolument apériodiques; 2° la partie mobile n'étant pas magnétique, ils sont soustraits à l'influence du magnétisme terrestre ou des aimants voisins, ce qui les rend précieux pour prendre des mesures dans les usines électriques; 3° le couple moteur peut être rendu très grand, puisque, toutes choses égales d'ailleurs, il est proportionnel au produit de l'intensité du courant

à mesurer par l'intensité du champ magnétique. Or on peut rendre ce champ magnétique aussi puissant qu'on le désire.

Mon premier galvanomètre à circuit mobile, construit par M. Carpentier, m'avait été inspiré par le galvanomètre de M. Marcel Deprez, connu sous le nom de *galvanomètre à arête de poisson*.

Dans cet appareil, une aiguille en fer doux, placée dans un cadre galvanométrique, est fortement polarisée par un aimant en fer à cheval qui embrasse le circuit. Cet appareil est à indications rapides, mais, étant fortement dirigé, il est peu sensible. En un mot, *il n'est pas astatique*.

Voici comment M. Marcel Deprez expose, dans *la Lumière électrique* (numéro du 7 septembre 1881), l'importante modification que j'ai fait subir à son appareil :

« Lorsque l'on veut une très grande sensibilité, il faut nécessairement se rapprocher beaucoup de l'astaticité, c'est-à-dire rendre la force directrice très faible, tout en conservant à l'aiguille aimantée (dite *aréte de poisson*) l'aimantation la plus énergique possible.

» Pour satisfaire à ces deux conditions, qui, au premier abord, paraissent inconciliables, M. d'Arsonval a eu l'heureuse idée d'apporter à mon galvanomètre une modification qui n'en change pas le nombre des organes, mais qui permet de rendre la forme antagoniste aussi faible qu'on veut, tout en augmentant l'action mécanique du courant sur l'aiguille. M. d'Arsonval a été conduit à cette disposition en remarquant que cette action mécanique est accompagnée d'une réaction égale et contraire de l'aiguille sur le courant, et que, par conséquent, *si l'on fixe l'aiguille et que l'on rende le courant mobile*, on n'altère pas le moment de l'effort exercé par le cadre galvanométrique sur l'aiguille, tandis que l'effet antagoniste est annulé. Il est même facile de voir que la force, qui tend à faire mouvoir le cadre, est plus grande que celle qui est exercée par le cadre sur l'aiguille, parce que le cadre est, en outre, sollicité à se mouvoir dans la même direction par l'aimant permanent dans lequel il est enfermé. »

Cet appareil repose sur le même principe que le siphon recorder de William Thomson (indiqué par Cl. Maxwell). On voit que je suis arrivé à cette combinaison en partant d'un autre point de vue, et que j'ai aussi transformé *en galvanomètre* un appareil qui jusque-là n'avait été employé que comme récepteur télégraphique.

J'ai donné à cet appareil le nom d'*appareil Deprez-d'Arsonval* pour rappeler son origine. Ultérieurement, il fut breveté par M. Deprez pour les usages industriels.

M. Carpentier le dispose de la façon suivante : entre les branches d'un aimant en fer à cheval placé verticalement est suspendu un cadre galvanométrique rectangulaire au moyen de deux fils métalliques reliés l'un au-dessus, l'autre au-dessous du cadre et qui servent à y amener le courant. Les deux autres extrémités de ces fils sont respectivement fixées à deux points d'attache de telle façon que l'équipage tourne autour de ces deux fils tendus comme axe.

A l'intérieur de ce cadre est fixé, d'une façon indépendante, mais immuable, un cylindre de fer doux qui concentre le champ magnétique.

**Thermo-galvanomètre.**

J'ai imaginé cet appareil (*fig.* 4), en vue de mesurer la chaleur rayonnante. Sa forme dérive directement du galvanomètre primitif décrit ci-dessus.

Fig. 4.




Il se compose d'un aimant en fer à cheval SN et du tube de fer doux T dont l'ensemble constitue le double champ magnétique de l'instrument. Un cadre métallique C, suspendu par un fil de cocon O, peut se mouvoir dans le champ. Ce cadre est composé de deux moitiés symétriques faites de métaux différents. La moitié

gauche, par exemple, est un fil d'argent, la moitié droite un fil de palladium, ces deux moitiés se soudent l'une à l'autre en S et S'. On a ainsi un circuit thermo-électrique, traversé par un courant si les deux soudures S et S' ne sont pas à la même température. *La pile thermo-électrique et le galvanomètre sont un seul et même appareil.*

L'équipage est orienté par son faible magnétisme ou par un petit brin de fil de fer fixé au cadre. Le miroir *m* sert à lire les déviations et protège la soudure S' contre le rayonnement. On concentre au contraire sur la soudure supérieure S les rayons calorifiques émanant de la source qu'on veut étudier.

L'appareil est absolument apériodique et aussi astatique qu'on peut le désirer. Sa sensibilité est donc des plus considérables et sa capacité calorifique nulle. L'inertie en est très faible et les indications par conséquent extrêmement rapides. On peut en décupler encore la sensibilité en se servant de l'échelle micrométrique décrite ci-dessus.

Le même appareil peut être rendu encore plus simple et moins inerte.

On supprime le tube de fer, et le couple se compose simplement de deux fils métalliques (argent palladium) soudés à leurs extrémités et suspendus au fil de cocon en O.

---

## SÉANCE DU 19 FÉVRIER 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Amagat, Professeur à la Faculté catholique de Lyon.
Armagnat, Ingénieur à Paris.
Bouchard, Sous-Ingénieur des télégraphes à Tours.
Buguet, Professeur au lycée de Moulins.
Corvisy, Professeur au lycée de Saint-Omer.
Lyon (Gustave), Ingénieur civil des Mines à Paris.
Schoddnijn (l'abbé), Professeur de Sciences à Gravelines.
Thouvenot (Clovis), Ingénieur électricien à Zurich.
Voisenat (Jules), Sous-Ingénieur des télégraphes à Paris.
Vandenbroucque, Professeur à l'Institution libre de Marcq en Barœul.

M. le **Président** fait part à la Société, dans les termes suivants, de la perte qu'elle vient de faire en la personne de M. Jamin, l'un de ses Membres honoraires :

Depuis notre dernière séance, la Société de Physique a subi une grande perte. M. Jamin avait présidé notre Société en 1875; il était depuis 1882 un de nos membres honoraires. C'est la première fois que la mort frappait l'un de nos anciens présidents dans des circonstances nous permettant de prendre part aux hommages rendus à sa mémoire; car vous vous rappelez que, lors de la mort du regretté Bertin, notre Société était en vacances, et que d'ailleurs les obsèques de notre Confrère ont eu lieu en province.

Votre Bureau a pensé que la Société devait réclamer une part officielle dans les honneurs rendus à M. Jamin. Cette demande a été accueillie, et j'ai eu le grand honneur de vous représenter dans cette triste cérémonie. J'ai été admis à tenir l'un des cordons du poêle et appelé à prononcer quelques paroles d'adieu sur la tombe.

Quelques-uns d'entre vous ont formulé le désir d'entendre ce soir les quelques mots que j'ai prononcés. Je viens donc vous les lire en exprimant l'espoir d'avoir exactement rendu ce qui était dans votre pensée à tous :

« La Société de Physique ne peut laisser refermer cette tombe sans adresser un dernier adieu à celui que la mort vient de terrasser après une lutte longue et douloureuse.

» Quand, en 1873, Bertin, d'Almeida et Lissajous, ces ouvriers de la première heure, si tôt ravis à notre amitié, firent appel aux savants français pour créer une Société destinée à contribuer à l'avancement de la Physique, Jamin fut un des premiers à apporter à la Société nouvelle l'appui de son nom et de sa grande autorité. Il en a suivi le développement avec intérêt, se réjouissant de sa prospérité croissante, l'aidant de ses conseils et prenant part à ses travaux avec l'ardeur qu'il apportait en toutes choses.

» Il fut appelé à la présidence en 1875 et resta depuis cette époque membre associé de son Conseil. Aussi la Société fut heureuse, en 1882, de pouvoir lui offrir le titre de membre honoraire qu'elle réserve, comme un hommage, aux physiciens les plus éminents.

» La Société de Physique eut la bonne fortune de recevoir souvent la primeur des Communications de Jamin sur ses travaux et ses découvertes. C'est ainsi qu'elle entendit successivement l'exposé de ses intéressantes recherches sur le magnétisme, dans lesquelles il a développé toute la sagacité d'observation et l'habileté d'expérimentation dont il a donné tant d'exemples.

» Ses auditeurs garderont toujours le souvenir de la clarté qu'il savait apporter dans l'exposition des sujets les plus ardus, de la chaleur communicative de sa parole, de toutes ces qualités enfin qui en faisaient un professeur d'une habileté incomparable et un conférencier sans rival.

» L'autorité qu'il avait acquise dans les questions concernant les applications de l'électricité le fit désigner pour la présidence de la Commission

d'organisation du Congrès des électriciens, lors de l'ouverture de l'exposition de 1881.

» Appelé à collaborer aux travaux de cette Commission, j'eus l'occasion de le voir alors à l'œuvre de très près; je retrouvai en lui la même ardeur que je lui avais connue plus de vingt ans auparavant, lorsque je recevais ses leçons sur les bancs de l'École Polytechnique.

» Je lui retrouvai aussi cette même ampleur de vues qui s'alliait si bien avec tout son être. Il en a laissé les traces dans le programme fécond qui servit de base aux délibérations du Congrès et qui provoqua la création de la Conférence internationale des électriciens dont, à la mort de Dumas, il recueillit la présidence.

» L'Académie des Sciences, en le nommant Secrétaire perpétuel, lui avait donné le plus grand honneur qu'il pût ambitionner, et rien ne pouvait faire prévoir alors qu'il suivrait si promptement dans la tombe son illustre prédécesseur.

» Sa robuste nature semblait devoir lui assurer encore de longs jours. Sa perte n'en est que plus sensible pour tous ceux (et ils sont nombreux) qui ont pour lui l'affection et le respect qu'inspirèrent son caractère loyal et ses éminentes qualités.

» La Société de Physique y perd plus que toute autre. Il ne comptait dans son sein que des amis; il s'y considérait comme en famille, et c'est au nom de l'amitié et de la concorde qu'il nous adressait le discours de clôture de sa période présidentielle.

» C'est au nom de la reconnaissante affection que nous lui devons que nous envoyons notre dernier adieu au maître aimé et respecté qui nous quitte aujourd'hui ».

M. le PRÉSIDENT annonce également à la Société la mort de M. de Sourdeval, l'un de ses membres les plus anciens, qui s'est surtout signalé par l'impulsion qu'en qualité de président de la Société d'électricité il a donné au mouvement qui s'est produit vers l'année 1878 en faveur des applications de l'électricité à l'éclairage public. On se rappelle que c'est à l'initiative de cette Société qu'a été due la brillante application de la bougie Jablochkoff à l'éclairage de l'avenue de l'Opéra.

M. LEDUC décrit deux nouvelles méthodes pour la mesure des champs magnétiques. Ces méthodes peuvent être employées dans un atelier de construction et permettent à l'observateur de s'installer près de la machine qu'il étudie. Les mesures peuvent être faites rapidement et simplement à 5 unités près (C.G.S.)

La première méthode est fondée sur le principe du galvanomètre à mercure de M. Lippmann. L'appareil se compose d'un explorateur et d'un manomètre différentiel à mercure et eau. L'explorateur est constitué par une chambre à mercure très mince traversée par un courant d'intensité connue I. Il peut être soudé au manomètre ou lui être relié par de petits tubes de caoutchouc remplis de mercure.

L'intensité M du champ est donnée en fonction du déplacement $h$ du sommet de la colonne d'eau par la formule

$$M = \frac{Kh}{I \sin \alpha},$$

dans laquelle K est une constante que l'on peut connaître à 0,01 près, et $\alpha$ l'angle que fait la chambre à mercure avec les lignes de force du champ.

Si la chambre est coupée normalement par ces lignes, la hauteur $h$ est maxima, et la formule se réduit à

$$M = \frac{Kh}{I}.$$

On pourra donc connaître l'intensité du champ et la direction des lignes de force.

La deuxième méthode est fondée sur l'augmentation de résistance électrique du bismuth dans un champ magnétique, phénomène que M. Leduc a observé pour la première fois en avril 1884.

Si l'on désigne par $z$ l'augmentation de résistance de l'unité dans un champ M et si l'on trace une courbe en prenant comme coordonnées les valeurs de M et de $z$, on reconnaît sans peine un quart d'hyperbole dont l'équation est

$$z^2 + \beta z - \alpha M^2 = 0.$$

Il sera facile de déterminer $\alpha$ et $\beta$, en plaçant successivement le métal dans deux champs connus. On pourra ensuite calculer M par la formule

$$M = \sqrt{\frac{z(z+\beta)}{\alpha}}.$$

Les coefficients $\alpha$ et $\beta$ varient d'un échantillon à l'autre.

Le bismuth obtenu par électrolyse présente au plus haut degré le phénomène. M. Leduc a observé sur certains échantillons une augmentation de résistance de plus de 80 pour 100.

A la demande de M. Cornu, M. Leduc donne quelques renseignements numériques. Il est intéressant de remarquer que le champ produit entre les armatures d'un électro-aimant subit la même diminution, soit que l'on double la distance des armatures, ou que l'on diminue de moitié le courant, ou que l'on ne fasse passer celui-ci que dans l'une des bobines de l'appareil.

M. G. Trouvé présente à la Société divers appareils d'éclairage électrique de son invention, qui ont été employés au Laboratoire zoologique de Roscoff, pour l'étude des petits animaux marins.

Le premier de ces appareils se compose d'un vase cylindrique en cristal. au-dessous duquel est un miroir en glace argentée. Le vase est recouvert

d'un couvercle réflecteur parabolique au centre duquel on suspend une lampe à incandescence. Il est rempli d'eau de mer dans laquelle s'agitent les animaux à étudier.

Le deuxième appareil est une planchette à dissection. La pièce à disséquer est placée dans un petit bac en verre, au-dessous duquel se trouve un miroir parabolique. Une lampe à incandescence est suspendue au foyer du miroir.

L'appareil se complète à l'aide d'un photophore Hélot-Trouvé, pouvant envoyer des rayons lumineux dans une direction quelconque.

Un commutateur permet de lancer à volonté le courant dans la lampe de la planchette ou dans celle du photophore et d'éclairer l'objet par transparence ou par réflexion.

M. G. Trouvé présente à la Société diverses photographies microscopiques obtenues à l'aide de son éclairage.

---

## *Mesure des champs magnétiques;* par M. Leduc.

Les expériences dont je vais rendre compte ont eu pour but de remplacer la formule grossièrement approchée $D = kM(1 - at)$ que j'avais indiquée dans un précédent travail ([1]) par une autre plus exacte et de déterminer à $\frac{1}{100}$ ou $\frac{2}{100}$ près le coefficient $k$ pour le bismuth.

### Disposition des expériences.

J'ai opéré sur une lame de bismuth de $54^{mm}$ de longueur, de $32^{mm}$ de largeur, et dont l'épaisseur moyenne calculée d'après sa résistance serait de $0^{mm},0233$.

Soient A, B, G, H les milieux des côtés de la lame. Deux pinces fixées en A et B servent d'électrodes au courant qui traverse le métal dans le sens de la longueur. Deux autres pinces fixées en G et H, mais isolées du métal au moyen de mica, portent de petits ressorts dont les extrémités, munies de têtes arrondies, viennent s'appuyer en deux points E et F de la ligne GH. Ces deux points sont sensiblement au même potentiel. Le tout plonge dans une cuve étroite remplie d'eau distillée, afin d'atténuer le plus possible

([1]) Voir *Séances de la Société de Physique,* année 1884, p. 189.

l'échauffement dû au courant qui traverse la lame. Cette cuve est placée entre les armatures d'un électro-aimant distantes de $0^m,03$. J'ai vérifié que le champ est sensiblement uniforme dans la région occupée par la lame. Il s'élève à 10 000 C.G.S. lorsqu'on anime l'électro-aimant par un courant de 38 ampères.

Soit D la déviation que subit la ligne équipotentielle passant par E dans un champ magnétique d'intensité M, à la température $t^o$, et représentons par $d$ la distance EF, par $\rho$ la résistance de la lame par centimètre de longueur, et par I l'intensité du courant qui la traverse. Il s'établira entre les deux points E et F une différence de potentiel $e$ donnée par la formule

$$e = I\rho d \operatorname{tang} D.$$

Cette différence de potentiel est mesurée par la méthode de réduction à zéro, au moyen de l'électromètre de M. Lippmann.

Afin d'éviter la correction due au magnétisme rémanent et de doubler l'effet à mesurer, j'ai toujours opéré par renversement du magnétisme de l'électro-aimant.

**Variations de la résistance du bismuth.**

Remarquons d'abord que la résistance varie avec la température et aussi avec l'intensité M du champ, ainsi que je l'ai observé pour la première fois il y a deux ans.

Pour étudier ces variations, j'ai employé deux méthodes qui m'ont donné des résultats bien concordants. Dans une première série d'expériences, la lame était placée dans l'une des branches d'un pont de Wheatstone; dans une autre série, j'ai observé la différence de potentiel établie entre deux points situés sur la ligne AB par un courant d'intensité donnée.

Voici, par exemple, des nombres tirés de deux expériences; $r$ désigne la résistance en unités britanniques d'une longueur de $19^{mm},5$ de la lame ci-dessus.

| $t^o$. | M. | $r$. |
|---|---|---|
| 14° .......... | 0000 | 0,0333 |
| » .......... | 5000 | 0354 |
| » .......... | 10000 | 0387 |

| M. | $t^o$. | $r$. |
|---|---|---|
| 120 ........ | 7°,0 | 0,0344 |
| » ........ | 19,0 | 0331 |
| » ........ | 38,5 | 0321 |
| » ........ | 54,5 | 0314 |
| » ........ | 67,0 | 0309 |

Les résultats que j'ai obtenus ont été bien représentés par des formules paraboliques de la forme

$$r = r_0(1 + aM + bM^2 - cM^3),$$
$$r_t = r_0(1 - pt + qt^2),$$

et j'ai trouvé, pour les coefficients $a$, $b$, $c$, $p$, $q$, les valeurs moyennes suivantes :

$$a = 277 \times 10^{-8},$$
$$b = 228 \times 10^{-11},$$
$$c = 105 \times 10^{-15}.$$

La résistance $\rho_0$ de la lame par centimètre de longueur à 0° hors du champ magnétique est, d'après ces expériences, $0^{\mathrm{UB}},0183$.

### Phénomène de Hall.

L'angle D ne dépasse pas 5° ; on peut donc remplacer la tangente par l'angle lui-même.

Admettons que les variations de résistance étudiées ci-dessus soient indépendantes l'une de l'autre et posons

$$\varphi(M, t) = (1 + aM + bM^2 - cM^3)(1 - pt + qt^2) \quad \text{et} \quad \delta = \frac{e}{I\rho_0 d};$$

nous pouvons écrire

$$D = \frac{e}{I\rho d} = \frac{e}{I\rho_0 d[\varphi(M t)]} = \frac{\delta}{\varphi(M, t)}.$$

Il ne reste plus qu'à étudier la fonction $\delta$. Trois séries d'expériences ont été faites, afin d'établir l'influence de l'intensité M du champ magnétique, de la température $t^\circ$ et de l'intensité I du courant qui traverse la lame.

J'ai fait varier en outre $d$. Bien que l'expression $\delta$ m'ait paru indépendante de cette grandeur, je me propose de répéter ces expériences sur un nouvel échantillon de bismuth, afin d'éviter les perturbations que peut produire le défaut d'homogénéité de cette lame, qui a servi à de nombreux essais.

1° *Variation de* M. — Dans une première série d'expériences, la température $t^\circ$ et l'intensité I sont restées sensiblement inva-

riables, tandis que l'intensité du champ magnétique s'est élevée de 1000 à 9500 C. G. S.

Dans le Tableau ci-après, extrait de l'une de ces expériences, la différence de potentiel $e$ est mesurée en unités arbitraires; pour l'obtenir en volts, il suffira de multiplier les nombres inscrits dans cette colonne par $\frac{1,1}{20000+e}$; l'intensité I est exprimée en ampères; elle est mesurée par la différence de potentiel prise aux extrémités d'un gros fil dont la résistance est 0,0863. L'intensité du magnétisme est mesurée au moyen du magnétomètre à mercure précédemment décrit ([1]).

| *d.* | *t.* | M. | I. | *e.* | $\delta_1$. |
|---|---|---|---|---|---|
| mm | o | | | | |
| 27 ...... | 11,0 | 1650 | 4,17 | 87,0 | 163,0 |
| » ...... | 10,0 | 2680 | 4,16 | 129,0 | 164,2 |
| » ...... | 9,5 | 3000 | 4,15 | 140,5 | 164,9 |
| » ...... | 9,0 | 3420 | 4,14 | 153,0 | 164,3 |
| » ...... | 8,5 | 3940 | 4,03 | 163,0 | 164,1 |
| » ...... | 15,0 | 5400 | 4,10 | 198,0 | 166,0 |
| » ...... | 15,0 | 6100 | 4,10 | 212,0 | 165,4 |

J'ai tracé une courbe en prenant comme abscisses les valeurs du champ et pour ordonnées celles de $\frac{e}{I}$. Cette courbe est bien représentée par l'équation

$$\frac{e}{I} = \mu M(1 - \alpha M + \beta M^2),$$

dans laquelle

$$\alpha = 91 \times 10^{-6},$$
$$\beta = 316 \times 10^{-11}.$$

On voit, en effet, dans la dernière colonne que l'expression $\delta_1 = \frac{\delta \times 10^{-7}}{M(1 - \alpha M + \beta M^2)}$ est sensiblement constante; ses variations peuvent être attribuées à la différence des températures auxquelles sont faites les diverses lectures.

2° *Variation de* I. — Dans une expérience où j'ai maintenu

---

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences* du 28 juillet 1884.

constantes, autant que possible, l'intensité du champ et la température, j'ai obtenu les nombres suivants :

| $t$. | M. | I. | $e$. | $\delta_1$. |
|---|---|---|---|---|
| 13,0 ....... | 3560 | 4,12 | 158,0 | 168,6 |
| 15,0 ....... | 3240 | 4,13 | 149,0 | 168,6 |
| 13,0 ....... | 3510 | 3,59 | 136,0 | 167,7 |
| 15,5 ....... | 3270 | 3,61 | 130,5 | 167,9 |
| 13,0 ....... | 3460 | 3,02 | 113,5 | 167,8 |
| 15,0 ....... | 3300 | 3,04 | 110,0 | 166,9 |
| 14,0 ....... | 3400 | 1,76 | 65,0 | 166,9 |
| 14,5 ....... | 3340 | 1,75 | 64,0 | 167,3 |
| 14,5 ....... | 3370 | 1,13 | 41,5 | 167,0 |

Les nombres de la dernière colonne s'élèvent légèrement en même temps que I augmente; mais la différence de 1 pour 100 qui existe entre le premier et le dernier de ces nombres peut être attribuée à l'échauffement que subit la lame traversée par le courant, quoiqu'elle soit plongée dans l'eau. Il suffit, en effet, d'une élévation de température de 2° pour produire une semblable augmentation. Nous admettrons donc que la déviation D est absolument indépendante de l'intensité I.

3° *Variation de t°*. — Enfin plusieurs expériences ont été faites avec des valeurs différentes de M, dans lesquelles j'ai fait varier la température entre 0° et 70°. J'ai consigné dans le Tableau ci-dessous les valeurs de $\delta_1$ calculées au moyen de la formule précédente.

| $d$. | $t$°. | M. | I. | $e$. | $\delta_1$. |
|---|---|---|---|---|---|
| mm 25,5 .......... | 70 | 3900 | 4,92 | 188 | 164,0 |
| » .......... | 25 | 3800 | 4,93 | 199 | 170,0 |
| » .......... | 40 | 3730 | 4,97 | 198 | 169,4 |
| » .......... | 62 | 3670 | 5,04 | 183 | 156,6 |

Ces résultats sont bien représentés par la formule

$$\delta_1 = 158(1 + mt - nt^2),$$

dans laquelle

$$m = 0,00541, \qquad n = 0,000093.$$

**Conclusion.**

On peut donc représenter $\delta$ par la formule suivante

$$\delta = kM(1 - \alpha M + \beta M^2)(1 + mt - nt^2)$$

et, par suite,

$$D = \frac{\delta}{\varphi(Mt)} = kM\frac{(1 - \alpha M + \beta M^2)(1 + mt - nt^2)}{(1 + aM + bM^2 - cM^3)(1 - pq + qt^2)}$$

ou enfin

$$D = kM(1 - AM + BM^2 + CM^3)(1 + Pt - Qt^2),$$

formule dans laquelle les constantes ont les valeurs suivantes :

$k = 158 \times 10^{-7}$,
$A = a + \alpha = 882 \times 10^{-7}$,
$B = \beta - b + aA = 112 \times 10^{-11}$, $P = m + p = 844 \times 10^{-5}$,
$C = c + bA - aB = 303 \times 10^{-15}$, $Q = n + q - pP = 862 \times 10^{-7}$.

Cette formule montre que D atteint 5° environ dans un champ égal à 10 000. Elle n'est pas applicable au delà. On voit aussi que la déviation D est maxima à la température de 49°.

*Remarque I.* — M. Hall appelle *pouvoir rotatoire magnétique* l'expression

$$R = \frac{e\varepsilon}{IM},$$

dans laquelle $\varepsilon$ désigne l'épaisseur de la lame, et il attribue à ce coefficient pour le bismuth la valeur $858 \times 10^{-11}$.

On remarquera que R varie avec la température et l'intensité magnétique. Désignons, en effet, par $\rho_1$ la résistance spécifique du bismuth, exprimée en ohms; on voit que

$$R = \frac{\delta\rho_1}{M},$$

et, si l'on adopte pour $\rho_1$ la valeur donnée par M. Mathiessen, $1312 \times 10^{-7}$, on a, d'après l'expérience ci-dessus,

$$R = 207 \times 10^{-11}(1 - \alpha M + \beta M^2)(1 + mt - nt^2).$$

Eu égard à la température, on voit que R prend une valeur maxima vers 29°.

La valeur de R est toujours inférieure à $240 \times 10^{-11}$ et devient trois fois plus petite dans un champ égal à 15000. Le coefficient donné par M. Hall serait donc beaucoup trop fort. Je me propose d'examiner si une pareille différence peut tenir à quelque particularité de l'échantillon du métal employé.

Quelques expériences sur l'antimoine m'ont donné pour le coefficient $k$ la valeur $44 \times 10^{-8}$, que je crois exacte à 10 pour 100 près. Il en résulte que R doit rester inférieur à $16 \times 10^{-12}$. M. Hall donne à ce coefficient une valeur sept fois plus forte

$$R = 114 \times 10^{-12}.$$

*Remarque II.* — On a vu plus haut que la résistance du bismuth peut augmenter de 16 pour 100 de sa valeur dans un champ magnétique égal à 10000 C. G. S.

Cette augmentation de résistance est due en partie à la déviation des lignes équipotentielles; la résistance doit être multipliée, en effet, par $\frac{1}{\cos D}$. Mais il est facile de voir que ce coefficient ne dépasse pas ici 1,005. Il faut donc chercher l'explication de ce phénomène dans le changement de structure du métal qui produit aussi la déformation du champ électrique de la lame.

Quoi qu'il en soit, je me suis proposé d'étudier cette variation sur des échantillons de bismuth préparés de diverses manières, afin de l'appliquer à la mesure des champs magnétiques.

Je me bornerai à indiquer ici que la formule parabolique adoptée plus haut doit être remplacée, si l'on veut dépasser les limites entre lesquelles elle a été établie, par la formule hyperbolique

$$z^2 + \beta z - \alpha M^2 = 0,$$

dans laquelle $z$ est le rapport $\frac{r_n - r_0}{r_0}$, et $\alpha$ et $\beta$ des constantes que l'on devra déterminer au moyen de deux expériences. Cela fait, on calculera aisément l'intensité M du champ qui produit une variation donnée de la résistance par la formule

$$M = \sqrt{\frac{z(z+\beta)}{\alpha}}.$$

*Note sur les appareils d'éclairage électrique de M.* G. Trouvé.

Les appareils construits pour les stations de Roscoff et de Banyuls se composent, comme le montre la *fig.* 1, d'un vase cylindrique en cristal, au-dessous duquel est un miroir en glace argentée. Le vase est recouvert d'un couvercle réflecteur argenté,

Fig. 1.




à surface parabolique, au centre duquel est suspenque une lampe à incandescence. Il est rempli d'eau douce ou de mer, suivant la nature des êtres que l'on veut examiner. Entre le couvercle parabolique et le miroir du fond, il s'opère un renvoi de rayons dans une direction parallèle aux parois verticales du vase. L'éclairage ainsi dirigé permet d'étudier ces animaux délicats jusque dans

leurs détails les plus minutieux, avec une netteté surprenante, et de suivre tous leurs mouvements avec la plus grande facilité. A l'aide de la loupe, les résultats de l'observation sont vraiment remarquables, si l'on considère la simplicité des organes mis en jeu.

Pour étudier les fermentations, l'appareil est un peu modifié; le couvercle réflecteur est rodé sur le vase muni de robinet ou vissé sur une garniture métallique scellée sur le bord supérieur du vase de cristal, pour mettre les préparations à l'abri de l'air (*fig.* 2).


Fig. 2.

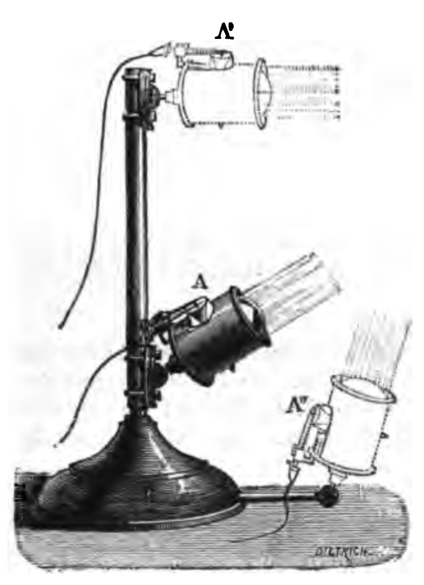



Une chemise métallique en forme de lanterne met l'appareil à l'abri de tout choc extérieur.

Un second appareil (*fig.* 3) est le photophore électrique de MM. Hélot et Trouvé, modifié de manière à permettre d'opérer les dissections les plus fines en éclairant vivement les préparations. Sa lumière n'altère en rien la couleur des animaux, qui apparaissent tels qu'ils sont au jour. Ce qu'il faut apprécier dans le photophore, c'est son petit volume et surtout son maniement très facile, qui permet de le placer comme on le désire, d'éclairer obliquement ou dans tout autre sens l'objet à examiner. Il est, par exemple, possible, en posant sur une planchette un petit bac rempli d'eau de mer où vivent des animaux, de rester plongé

dans l'obscurité, tandis qu'on promène le pinceau éclatant de lumière sur telle ou telle partie du bocal qu'on examine à la


Fig. 3.




loupe. La lumière peut encore traverser le bac de bas en haut et éclairer fortement l'animal par transparence.

La pile elle-même qui fait fonctionner ces appareils est peu encombrante, elle pèse à peine $3^{kg}$ et, néanmoins, permet d'opérer avec une grande sûreté.

---

## SÉANCE DU 5 MARS 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Brachet (Henri), Ingénieur à Lyon.

Hugoniot, Capitaine d'artillerie de Marine, répétiteur à l'Ecole Polytechnique.

Vlasto (Ernest), Ingénieur administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques à Paris.

M. le Président fait part à la Société de la perte regrettable qu'elle vient de faire en la personne de M. Auguste Guérout, secrétaire de la rédaction du journal *la Lumière électrique*.

M. le Président annonce que le Conseil d'administration de l'Association française pour l'avancement des Sciences a voté une somme de 300$^{fr}$ comme souscription à la publication des Mémoires d'Ampère.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique, annonçant que le Congrès des Sociétés savantes pour 1886 s'ouvrira à la Sorbonne le 26 avril, et invitant les membres de la Société à prendre part à ce congrès.

M. le Président annonce enfin qu'un Congrès Scientifique se tiendra à Limoges, sous le patronage de la Société « Gay-Lussac », du 31 mai au 5 juin 1886.

M. Mergier présente un appareil destiné à la démonstration expérimentale des lois du grossissement dans les instruments d'optique (loupe, microscope, etc.), telles que M. Guébhard les a exposées en 1883, au point de vue mathématique, et que des constructions géométriques dues à M. Gariel mettent en évidence.

Cet appareil, construit par M. Ducretet, se compose d'une règle métallique horizontale, sur laquelle peuvent se déplacer, au moyen de supports appropriés : un œil artificiel, une lentille faisant fonction de loupe et une flèche éclairée par une lampe ordinaire. — L'œil artificiel est constitué par un écran rétine et, afin de produire l'accommodation, d'une lentille du D$^{r}$ Cusco, modifiée de la façon suivante : Dans la monture métallique où sont enchâssées les deux lames de verre minces qui composent cette lentille, ont été ajoutés, de part et d'autre, deux ménisques convergents de même puissance; ces ménisques, outre qu'ils protègent les lames minces très fragiles, ont pour but d'éviter le déplacement du centre optique, sous l'influence de l'accommodation.

Au moyen de cet appareil on montre nettement les résultats théoriques suivants :

1° Le centre optique de l'œil étant placé au delà du foyer de la loupe, le maximum de grossissement est obtenu lorsque l'objet est le plus près possible du second foyer (au foyer même pour l'œil normal). Ce cas se trouvant souvent réalisé dans la pratique pour un certain nombre d'instruments d'optique (microscope, etc.), l'erreur qui consiste à dire que dans ces instruments l'image virtuelle est placée (selon une expression impropre) à la distance de la vision distincte (*punctum proximum*) est ainsi mise en évidence.

2° Si le centre optique est entre la loupe et son foyer, on a le maximum du grossissement en rapprochant l'objet le plus près possible de la loupe (c'est le seul cas où l'image virtuelle soit au *punctum proximum*).

3° Enfin, dans le cas où il y a coïncidence entre le centre optique et le foyer de la loupe, la position de l'objet est indifférente.

Ces expériences sont projetées devant la Société.

M. Mergier fait remarquer, en terminant, que l'appareil peut aussi servir, si on supprime la lentille-loupe, à réaliser toutes les expériences relatives à l'œil normal et aux différentes amétropies.

L'astigmatisme peut également être réalisé au moyen d'une lentille cylindrique pouvant s'adapter à la lentille Cusco.

M. Potier expose le résultat d'expériences faites par M. Cornu et par lui, relatives à la loi de Verdet.

Dans une séance précédente M. Cornu a montré que la loi de Verdet conduisait à cette conséquence, que les rayons perpendiculaires aux lignes de force, tombant normalement sur un milieu placé dans un champ magnétique uniforme, devaient subir une double réfraction, en se divisant en deux circulaires; l'angle de ces deux rayons est $K\frac{\lambda'}{\pi}$. Si K est la rotation produite par l'unité d'épaisseur et $\lambda'$ la longueur d'onde dans le milieu, si la loi de Verdet n'est pas exacte, cet angle existera néanmoins et aura la même valeur en désignant par K la limite $\frac{[\omega]}{\beta}$ du rapport de la rotation par unité de longueur à l'angle $\beta$ de l'onde lumineuse et des lignes de force; on s'est proposé de rechercher si ce rapport tend vers une limite différente de zéro, et si la loi de Verdet est exacte.

Le champ magnétique, très allongé perpendiculairement aux lignes de force, était produit par deux électro-aimants, formés chacun d'un bloc de fer, de $0^m,32$ de long, $0^m,20$ de haut et $0^m,075$ d'épaisseur, dans lequel deux cavités longitudinales à section demi-circulaire sont pratiquées, laissant entre elles un noyau saillant de $0^m,03$ d'épaisseur, formant la surface polaire. Le fil était enroulé autour de ce noyau dans les cavités : le poids du cuivre était de $6^{kg},50$, son diamètre de $1^{mm}$. Les deux blocs étaient reliés par des armatures en fer. Le courant était d'environ 4 ampères et le champ de 1200 unités, lorsque les noyaux étaient à $0^m,06$ l'un de l'autre.

Le liquide employé est une solution saturée à froid d'iodure de mercure dans l'iodure de potassium, dont le pouvoir rotatoire est 10 fois celui de l'eau.

En observant les rotations produites par une colonne de $0^m,30$ dont l'axe formait avec les perpendiculaires aux lignes de force des angles $\beta$ dont le sinus a varié de $-0,10$ à $+0,10$, on a vérifié que le rapport $\frac{[\omega]}{\beta}$ tendait bien vers une limite finie; mais les rotations n'étaient pas rigoureusement proportionnelles à $\sin\beta$, comme l'indique la loi de Verdet; on a vérifié que le champ n'était pas uniforme et, en employant une colonne de $0^m,20$ seulement, l'écart entre l'observation et la loi de Verdet est devenu insignifiant.

En étudiant directement le champ magnétique, on a vérifié aussi que les écarts trouvés avec le tube de $0^m,30$ étaient bien dans le sens indiqué par la loi de Verdet appliquée à un champ non uniforme.

M. Bouty présente le saccharimètre de MM. Th. et A. Duboscq, qui dérive du *saccharimètre des râperies* de M. Trannin. Dans les deux appareils on reconnaît la position du plan de polarisation à l'aide d'un polariscope de Senarmont. On sait que ce polariscope est obtenu par la juxtaposition de deux lames formées chacune de prismes égaux de quartz droit et de quartz gauche réunis par leur face hypoténuse, mais disposées en sens inverse. Quand ce système est placé entre un polariseur et son nicol à l'extinction, il fournit au milieu du champ une frange noire unique qui se dédouble en deux franges se déplaçant en sens inverse dans la moitié supérieure et la moitié inférieure du champ, dès que le plan de polarisation vient à dévier de sa position primitive.

Dans le saccharimètre de M. Trannin, la frange est primitivement dédoublée, et l'on cherche quelle est l'épaisseur de sirop sucré nécessaire pour ramener les deux franges dans le prolongement l'une de l'autre. Au contraire, dans le saccharimètre de MM. Th. et A. Duboscq, la frange est primitivement unique, et l'on interpose entre le polariscope et l'analyseur une colonne de sirop sucré de longueur fixe qui produit le dédoublement; on ramène la frange à être conique, et on mesure la rotation du plan de polarisation produite, à l'aide du compensateur, bien connu, de Soleil.

L'appareil est d'un fort bon usage en lumière blanche. La source lumineuse est une lampe à pétrole que l'on place de façon qu'elle éclaire par sa tranche la lentille collective, placée en avant du polariseur. Cette lentille, le polariseur et le polariscope sont portés par un même tube, au delà duquel se place le tube à sirop. Un second tube fixe porte le compensateur, l'analyseur et une petite lunette de Galilée.

D'après M. Dupont qui a effectué des mesures comparées à l'aide du nouveau saccharimètre et du saccharimètre Laurent à lumière jaune, les indications des deux instruments ont une très bonne concordance, et plus que suffisante pour la pratique industrielle.

M. Léon Laurent dit qu'il a déjà essayé, il y a douze ans, l'application au saccharimètre du prisme de Senarmont (*Journal de Physique*, t. III, p. 183). Cette solution, qui paraît séduisante au premier abord, manque de sensibilité. On sait en effet que les franges produites par ce prisme sont à bords estompés et d'autant plus, que celui-ci est taillé plus mince afin d'obtenir un déplacement appréciable des franges; il y a indécision dans le pointé.

M. Léon Laurent abandonna alors cette solution pour celle de sa lame *demi-onde*, beaucoup plus précise, surtout dans son modèle à compensateur et à lumière ordinaire, présenté à la Société le 19 mai 1882.

*Vérification de la loi de Verdet;* par MM. Cornu et Potier.

Faraday a découvert le pouvoir rotatoire magnétique; il a vu que ce pouvoir était nul pour les ondes parallèles aux lignes de force et changeait de signe avec la projection, sur la direction de celles-ci, de la direction de propagation du rayon; ce qui revient à dire que des circulaires gauches et droits se propagent avec des vitesses différentes $v_1$, $v_2$ dépendant de l'angle $\beta$ de l'onde et des lignes de force. La rotation $[\omega]$ du plan de polarisation par unité de longueur est liée à ces vitesses par la relation

$$[\omega] = \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}\right)\frac{\pi}{\tau}.$$

D'après Faraday, $v_1 - v_2$ s'annule avec $\beta$; si $v_0$ est la vitesse commune pour cette direction, on aura

$$v_1 = v_0 + A\beta + \ldots, \qquad v_2 = v_0 + A'\beta + \ldots.$$

La direction du rayon gauche, par exemple pour $\beta = 0$, s'obtiendra en cherchant l'intersection de cette onde avec les ondes infiniment voisines, par suite le rayon doit être dans le plan normal à l'onde passant par les lignes de force et fait avec la normale à l'onde un angle $\frac{A}{v_0}$, tandis que le rayon droit fait l'angle $\frac{A'}{v_0}$ avec la même direction; l'angle de ces deux rayons est donc

$$\frac{A - A'}{v_0} = \lim \frac{v_1 - v_2}{\beta}$$

pour $\beta = 0$, ou encore

$$\frac{\lambda'}{\pi}\lim\frac{[\omega]}{\beta}$$

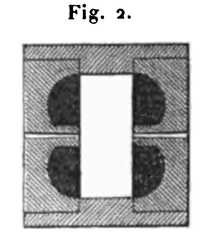
si $\lambda'$ est la longueur d'onde $v_0\tau$ dans le milieu. Il y aura donc bifurcation des rayons gauches et droits dans le milieu soumis à l'action magnétique, et recevant de la lumière naturelle dans une direction perpendiculaire aux lignes de force, lorsque la limite $\frac{[\omega]}{\beta}$ sera différente de zéro; c'est ce point que nous nous sommes proposé d'étudier.

Cette vérification est superflue si l'on admet la loi de Verdet,

ainsi que M. Cornu l'a fait remarquer ([1]); d'après celle-ci $[\omega] = k \sin\beta$, où $k$ est le pouvoir rotatoire pour les rayons parallèles aux lignes de force, l'angle des deux rayons est $\frac{k\lambda'}{\pi}$. Mais on a mis récemment en doute ([2]) l'exactitude rigoureuse de la loi de Verdet. Dans ses expériences, du reste, pour ne pas cesser d'avoir des rotations mesurables avec une approximation suffisante, Verdet n'a pas utilisé d'angle $\beta$ inférieur à 15°. Il y avait donc lieu d'examiner à nouveau dans des directions faisant avec les lignes de force des angles voisins de 90°, les rotations produites dans un champ magnétique.

Fig. 1.

Fig. 2.



Le champ magnétique a été obtenu en mettant en regard deux électro-aimants. Chacun d'eux se compose d'un bloc parallélépipédique, formé de 3 parties reliées par des boulons, de $32^{cm}$ de longueur perpendiculairement aux lignes de force, de $7^{cm},5$ d'épaisseur dans leur direction et de $20^{cm},7$ de hauteur. La face interne du bloc présente deux cavités cylindriques, symétriques, ayant leurs génératrices parallèles à la longueur, laissant entre elles une bande saillante de $3^{cm}$ de hauteur qui est le noyau proprement dit; le reste de la section droite est une portion de circonférence de $8^{cm}$ de diamètre dont le prolongement passerait par le milieu du noyau. Dans ces cavités est enroulé le fil de cuivre maintenu par des joues en laiton à l'aplomb de la face interne du bloc. Les deux blocs, placés en regard l'un de l'autre, sont maintenus à distance par des fers doux de même longueur qui *ferment* l'électro-aimant. Cette fermeture est très efficace; elle augmente dans le rapport de 6 à 10 le champ magnétique (distance des noyaux, $6^{cm},4$;

([1]) *Séances de la Société de Physique*, année 1885, p. 33.
([2]) Dr E. von Fleischl, *Sitzungsberichte der KK. Ak. der Wiss.*, XC Band., December Heft, 1884.

excitation, $4^{amp}$). Les blocs sont percés de trous coniques : l'un au milieu, les autres à $15^{cm}$ de chaque côté, qui permettent de faire traverser le champ par des rayons parallèles aux lignes de force.

Le fil, de $1^{mm}$ de diamètre, pesait $6^{kg},150$ et avait une résistance de $17^{ohms},3$; la longueur enroulée sur chaque électro est de $880^{m}$; on en déduit qu'il fait environ 900 tours. On ne peut guère dépasser une intensité de $4^{amp}$ correspondant à un dégagement de $4^{cal}$ par minute, qui, réparties dans une masse de cuivre de $6^{kg},15$, en élèvent la température de près de $7^{o}$. La résistance des fils croît très rapidement, et il est impossible de maintenir un courant constant pendant le temps nécessaire à une série d'observations. On a observé les rotations d'un flint de $1^{cm}$ d'épaisseur. Avec deux courants dont les intensités étaient dans le rapport de 175 à 301, les rotations ont été de $2^{o},78$ à $4^{o},85$, proportionnelles aux courants (dont l'intensité était de $4^{amp},3$ dans la dernière expérience). En admettant cette proportionnalité dans une série d'observations, on a pu réduire les rotations observées et les ramener à ce qu'elles auraient été pour un courant constant.

Les rotations qu'on se proposait d'observer dans des directions presque perpendiculaires aux lignes de force devaient être faibles; malgré la précision que donne l'emploi du polarimètre à pénombre et de la lumière monochromatique, il fallait donc employer, sous une grande longueur, une matière douée d'un pouvoir spécifique énergique. La trempe du flint est un obstacle à son emploi. Pour les liquides suivants, choisis parmi les plus réfringents : essence de girofle, acétophénol, toluène monobromé, le pouvoir rotatoire est inférieur à celui du sulfure de carbone; une dissolution concentrée de borotungstate de cadmium, d'une densité de 3,4, qu'avait bien voulu nous donner M. Klein, a un pouvoir rotatoire de 10 pour 100 seulement supérieur à celui de l'eau; la naphtaline monobromée a un pouvoir rotatoire supérieur de 15 pour 100 à celui du sulfure de carbone; enfin la solution de biiodure de mercure dans l'iodure de potassium, connue des minéralogistes sous le nom de *liqueur de Thoulet,* a un pouvoir rotatoire qui peut atteindre dix fois celui de l'eau lorsqu'elle est saturée. Ce liquide présente une transparence suffisante pour la lumière jaune du sodium.

Un tube, de $30^{cm}$ de longueur, rempli de cette solution, a été placé dans le champ magnétique des deux électro-aimants ci-dessus, dont les noyaux étaient écartés de $6^{cm},4$ ; le tube, placé horizontalement à la hauteur du milieu des noyaux, était monté sur une alidade de $23^{cm},77$ de long dont l'extrémité se mouvait sur un papier quadrillé ; la lecture $x$ de l'index de l'alidade, diminuée de la lecture $x_0$ correspondant à $\beta = 0$, donnait

$$x - x_0 = 23^{cm},77 \sin \beta.$$

Un tube de $4^{cm},98$ de long, faisant corps avec le précédent et formant croix avec lui, permettait d'observer, à travers les trous percés dans les noyaux, la rotation dans la direction des lignes de force; les rotations ainsi observées sont affectées de la lettre (T). Dans le Tableau ci-dessous, on a désigné par $2\omega$ la rotation (double) observée; par $2\omega'$ la rotation corrigée de l'effet des verres et ramenée à la valeur qu'elle aurait eue pour un courant de $4^{amp}$ dans chaque électro-aimant.

| Int. | Index. $x$. | Double rotation $2\omega$. | $2\omega'$. | $2\rho_1$. | $2(\rho_1 - \omega')$. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ° | ° | ° | ° |
| 4,67..... | 3,0 (T) | 31,58 | 27,04 | » | » |
| 4,65..... | 0,23 | 19,03 | 16,37 | 18,95 | 2,58 |
| 4,60..... | 1,0 | 15,24 | 11,52 | 13,72 | 2,20 |
| 4,57..... | 2,0 | 6,24 | 5,48 | 6,93 | 1,45 |
| 4,57..... | 3,0 | 0,17 | 0,14 | 0,14 | 0 |
| 4,57..... | 4,0 | — 6,00 | — 5,24 | — 6,65 | —1,41 |
| 4,50..... | 5,0 | —12,70 | —11,29 | —13,44 | —2,15 |
| 4,50..... | 5,3 | —14,93 | —13,38 | —15,49 | 2,10 |
| 4,43..... | 3,0 | 30,12 | 27,20 | » | » |
| 4,37..... | 3,0 (T) | 29,53 | 27,04 | » | » |

La courbe, ayant $2\omega'$ pour ordonnées et $x$ pour abscisses, coupe l'axe des $x$ au point $x_0 = 3,02$, correspondant à une rotation nulle et à $\beta = 0$. Il est évident que $\frac{2\omega'}{x - x_0}$, et par suite

$$\frac{[\omega]}{\beta} = \frac{\omega'}{30} : \frac{x - x_0}{23,77},$$

tend vers une limite finie quand $\beta$ tend vers zéro, limite que l'on trouverait égale à $2^\circ,07$ pour cette série. La double réfraction signalée par M. Cornu doit donc exister.

La colonne liquide ayant été placée dans la direction perpendiculaire aux lignes de force, la section principale du polariseur, verticale dans toutes les expériences précédentes, a été placée à 45° et il a été impossible de voir trace d'un changement dans la polarisation de la lumière émergente en faisant passer le courant.

Il était naturel de comparer les résultats de ces expériences aux rotations calculées d'après la loi de Verdet. D'après cette loi, dans un champ uniforme, les rotations auraient dû être rigoureusement proportionnelles à $x - x_0$; de plus, la rotation transversale $2\omega$ étant $k \times 4{,}98$, la rotation dans le long tube devrait être

$$k \times 30 \times \sin\beta = k \times 30 \frac{x - x_0}{23{,}77};$$

déduisant la valeur de $k = 5°{,}36$ des observations transversales, on a calculé les rotations $2\rho_1$ par cette formule, et ces valeurs calculées $2\rho_1$ dépassent très notablement les valeurs réduites $2\omega'$.

| I. | $x$. | $2\omega$. | $2\omega'$. | $2\rho_1$. | $2(\rho_1 - \omega')$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | ° | ° | ° | ° | ° |
| 8,95 = 4amp,475.... | 3,00 (T) | 17,75 | 15,55 | » | » |
| 8,85.............. | 0,38 | 16,96 | 15,30 | 16,47 | 1,17 |
| 8,75.............. | 1,00 | 12,26 | 11,09 | 12,50 | 1,31 |
| 8,55.............. | 2,00 | 5,57 | 5,21 | 6,09 | 0,88 |
| 8,55.............. | 3,00 | − 0,06 | − 0,06 | − 0,32 | −0,26 |
| 8,45.............. | 3,00 (T) | 16,82 | 15,43 | » | » |
| 8,40.............. | 4,00 | − 6,00 | − 5,70 | − 6,73 | −1,03 |
| 8,40.............. | 5,00 | −12,30 | −11,70 | −13,14 | −1,44 |
| 8,38.............. | 5,35 | −14,69 | −14,00 | −15,38 | −1,38 |
| 8,30.............. | 3,00 | −16,54 | −15,64 | » | » |

Dans une autre série d'expériences faites avec un tube de même longueur, mais avec une branche transversale plus courte ($3^{cm},06$) et rapportée ci-dessus, on retrouve la même allure pour les valeurs de $2\omega'$; mais la valeur de $k$ est notablement plus faible ($5°{,}06$) et les excès $2(\rho_1 - \omega')$ moins grands aussi. La différence entre les deux valeurs de $k$ prouve que le champ n'est pas suffisamment uniforme dans la direction des lignes de force passant par le centre de l'appareil. On a vérifié directement ce défaut d'uniformité au moyen d'une bobine et par le procédé optique. Un flint de $1^{cm}$, placé contre les noyaux, donnait une rotation de $3°{,}77$; placé au centre du champ, il donnait une rotation

de 3°,12. Le rapport 1,2 de ces rotations a été trouvé indépendant de l'intensité du champ. Ce champ n'est pas uniforme non plus dans le sens de la longueur des électro-aimants; dans le plan médian, à égale distance des noyaux, mais à 15cm du centre, le même flint donnait une rotation de 2°,74, tandis que contre les noyaux, à la même distance du centre, la rotation était de 3°,80. L'examen des lignes formées par la limaille montre d'ailleurs que, vers les extrémités des noyaux et dans la région parcourue par l'extrémité du tube, les lignes de force ont une courbure très notable.

Pour se rapprocher des conditions où la loi de Verdet s'applique sous la forme ci-dessus, qui exige que les lignes de force soient parallèles entre elles, on était donc conduit à utiliser une portion plus restreinte du champ; on a employé alors un tube de 20cm,39 de long, ayant également une branche transversale plus courte, de 2cm,01; ce qui a donné les résultats ci-dessous :

| I. | $x$. | $2\omega$. | $2\omega'$. | $2\rho_1$. | $2(\rho_1-\omega')$. |
|---|---|---|---|---|---|
| | c | ° | ° | ° | ° |
| 83,2 = 3amp,81... | 3,00(T) | 9,55 | 9,78 | » | » |
| 83,0........... | 0,35 | 9,77 | 10,26 | 10,44 | 0,18 |
| 81,7........... | 1,00 | 7,08 | 7,54 | 7,76 | 0,22 |
| 80,8........... | 2,00 | 3,26 | 3,50 | 3,63 | 0,13 |
| 79,9........... | 3,00 | —0,36 | —0,39 | —0,50 | —0,11 |
| 79,8........... | 3,00(T) | 9,01 | 9,62 | » | » |
| 77,0........... | 4,00 | —4,01 | —4,54 | —4,63 | —0,09 |
| 76,5........... | 5,00 | —7,55 | —8,59 | —8,76 | —0,21 |
| 75,8........... | 3,00(T) | 8,60 | 9,66 | » | » |

Si l'on excepte la lecture évidemment erronée correspondant à l'index = 3cm, les rotations réduites $2\omega'$ sont proportionnelles à $(x - x_0)$ avec $x_0 = 2,88$; la valeur de $k = 4,82$ déduite des observations transversales est encore plus petite que précédemment et les écarts $2(\rho_1 - \omega')$, considérablement réduits, ne dépassent pas 2 pour 100 des valeurs observées; de la moyenne des observations du long tube on déduirait $k = 4,73$. Il est probable que l'écart entre le calcul et l'observation tient encore à un léger défaut dans l'uniformité du champ; il suffirait, en effet, que la force qu'on a vue diminuer dans le rapport de 1,2 à 1 en s'éloignant du centre à 15cm dans le plan médian fût plus faible dans le rapport de 1,02 à 1, au point situé à 10cm du centre, qu'au centre même.

L'écart entre l'observation et le calcul, basé sur la loi de Verdet appliquée à un champ uniforme, est donc d'autant moins grand que le champ se rapproche davantage de l'uniformité; le sens de ces écarts est conforme à ce que l'on sait de la constitution du champ, dont les lignes équipotentielles sur le plan horizontal de symétrie sont toutes concaves vers le noyau le plus proche, sauf la ligne passant par le centre qui est droite.

On peut, en profitant de cette propriété du plan médian, vérifier la loi de Verdet par un procédé indirect sans s'occuper de l'uniformité du champ; il résulte en effet de la loi que les rotations produites ne dépendent que de la différence des valeurs du potentiel magnétique aux deux extrémités du trajet parcouru dans le milieu. Par suite, si C est le centre de l'appareil, un tube de longueur CB donnera la même rotation que le tube BA limité à un point A du plan médian. L'expérience n'a pas été faite sous cette forme simple, mais on a mesuré le rapport des rotations produites à travers une cuve d'iodomercurate de $1^{cm},4$, déplacée au centre ou à $15^{cm}$ de celui-ci; dans le plan médian (intensité du courant non mesurée) les rotations étaient $8^{o},13$ au centre et $7^{o},13$ à $15^{cm}$; le rapport, 1,14; d'après le Tableau de la seconde série, un tube de $30^{cm}$ de long ayant ses extrémités à $0^{cm},7$ du plan médian, d'où

$$x = 2,88 \pm 1,11,$$

aurait donné une rotation de

$$5^{o},36 \times 1,11 = 6^{o},95$$

dans le champ produit par un courant de $4^{amp}$, champ qui, d'après le troisième Tableau, aurait donné une rotation de

$$\frac{9,69 \times 1,4}{2,01} = 6,75$$

dans une cuve de $1^{cm},4$ placée au centre; le rapport

$$6,75 : 5,95 = 1,13$$

est, dans les limites des erreurs d'observation, égal au précédent.

*Instrument pour la démonstration expérimentale de la théorie du grossissement des appareils dioptriques,* par M. E. Mergier.

Dans la séance du 1er juin 1883, M. Guébhard exposait devant la Société la théorie mathématique ([1]) du grossissement de la loupe sous une forme un peu particulière qu'il étendait ensuite à tous les appareils dioptriques. Abandonnant l'ancienne définition, il prenait pour grossissement le rapport de l'image rétinienne de l'objet vu sans instrument à l'image rétinienne de l'objet vu à travers l'instrument grossissant, dans les meilleures conditions possibles. Quelque temps après, M. Gariel, reprenant la question au point de vue géométrique, indiquait des constructions simples qui mettaient en évidence les données fournies par l'interprétation mathématique et en permettaient l'introduction dans l'enseignement élémentaire.

On peut résumer comme il suit les résultats théoriques obtenus :

1° Le centre optique de l'œil étant placé au delà du premier foyer de l'instrument grossissant, le maximum de grossissement est obtenu lorsque l'objet est le plus près possible du second foyer (au foyer même pour l'œil emmétrope).

2° Si le centre optique de l'œil est entre l'instrument et son foyer, on a le maximum de grossissement en rapprochant l'objet le plus près possible de l'objectif.

3° Enfin, dans le cas où il y a coïncidence entre le premier foyer de l'instrument et le centre optique de l'œil, la position de l'objet est indifférente au grossissement.

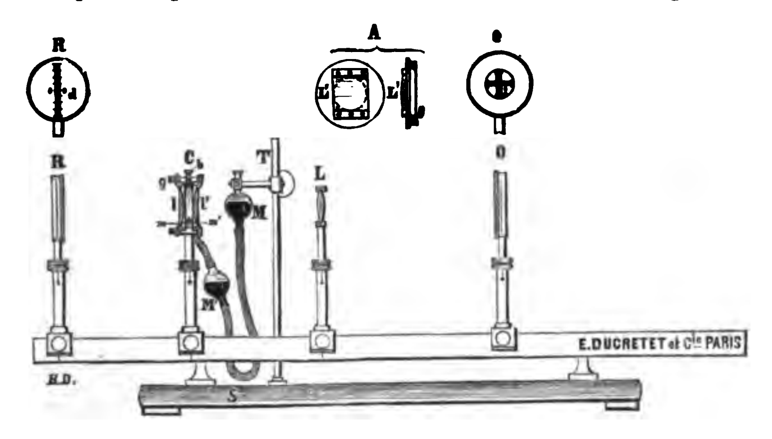
La question ainsi réduite à des données simples et précises, la vérification expérimentale était tout indiquée.

Sur une règle métallique fixée horizontalement au-dessus d'une planchette en bois sont placés, munis de supports appropriés pouvant se déplacer longitudinalement : 1° un œil artificiel C; 2° une lentille L faisant fonction de loupe; 3° un objet O formé

([1]) Voir *Séances de la Société de Physique*, année 1883, p. 122

par deux tiges étroites placées en croix dans l'ouverture circulaire d'un anneau métallique.

L'œil artificiel se compose d'un écran rétine R en verre dépoli, portant des divisions millimétriques, et d'une lentille du D[r] Cusco modifiée de la façon suivante : Dans la monture métallique où sont enchâssées les deux lames de verre minces qui composent cet appareil, ont été ajoutées, de part et d'autre, deux lentilles convergentes plan-convexes de même puissance *ll'*; ces lentilles, outre qu'elles protègent les lames de verre minces ont pour but




d'atténuer autant que possible les déplacements des points nodaux du système, sous l'influence de l'accommodation. On remplace avantageusement les lames de verre trop fragiles par des lames de mica convenablement clivées, lesquelles offrent plus de résistance à la pression, tout en laissant à l'image une netteté suffisante pour la démonstration que l'on se propose. De plus, nous avons pris comme instrument grossissant le plus simple de tous, la loupe, car il eût été sans intérêt de compliquer l'appareil par le choix d'un instrument plus complexe. La théorie montre, en effet, que les conditions du grossissement sont les mêmes quel que soit le système dioptrique considéré.

Remarquons enfin que, les supports étant mobiles sur la règle horizontale, on peut, à volonté, constituer un œil emmétrope myope ou hypermétrope. Des traits de repère permettent d'arriver rapidement à ces réalisations

*Le centre optique de l'œil est au delà du foyer de la loupe.* — Pour vérifier ce premier cas, l'œil étant emmétrope, on place la loupe à une distance convenable et on fait occuper successivement à l'objet différentes positions par rapport au deuxième foyer de celle-ci. L'examen de l'image rétinienne rendue nette au préalable par l'accommodation, montre que le grossissement est le plus fort possible lorsque l'objet est au foyer de la loupe.

Si l'on se place dans le cas de l'œil myope, l'objet ne peut plus atteindre la position du foyer; il peut, au contraire, dépasser cette position si l'œil est hypermétrope.

Ces expériences viennent donc confirmer la théorie, en montrant que le maximum de grossissement est atteint lorsque l'image virtuelle est au *punctum remotum* de l'œil considéré et que celle-ci ne doit jamais dépasser les limites de la vision (*punctum proximum, punctum remotum*). On peut remarquer aussi que l'œil hypermétrope est celui qui retire le plus de bénéfice de l'instrument, et l'œil myope celui qui en retire le moins, résultats prévus d'ailleurs par la théorie.

Ce cas est souvent réalisé dans la pratique pour nombre d'appareils dioptriques. Pour ne parler que du plus généralement usité, le microscope, une vieille habitude fait dire, voire même enseigner, encore aujourd'hui, que l'image virtuelle examinée par l'œil se trouve située (selon une expression impropre) à la distance de la vision distincte (*punctum proximum*). C'est là, nous le voyons, une erreur grossière que l'expérience aussi bien que la théorie réfute d'une façon évidente.

*Le centre optique de l'œil est entre la loupe et son foyer.* — Ce cas se vérifie d'une façon analogue au précédent. L'œil artificiel étant réglé pour la vision à l'infini, on place la loupe très près du système optique et l'on fait occuper à l'objet différentes positions par rapport à son premier foyer. — On remarque alors que l'image rétinienne devient d'autant plus grande que l'objet est plus rapproché de la loupe; la limite du grossissement correspondant à la position de l'image virtuelle au *punctum proximum*. C'est exactement l'inverse du cas précédent.

On peut remarquer, au cours de cette expérience, que, pour

une même position de l'objet par rapport à la loupe, l'image rétinienne est plus grande que dans le premier cas.

Donc, le grossissement est d'autant plus faible, toutes choses restant d'ailleurs dans le même état, que l'œil est plus éloigné de la loupe.

Dans la pratique, ce cas se présente pour les instruments à longue distance focale, tels que, par exemple, les loupes d'horlogers. On pourrait encore citer les verres correcteurs pour hypermétropes et presbytes.

*Le centre optique de l'œil coïncide avec le foyer de la loupe.* — Pour éviter les tâtonnements dans la réalisation de ce troisième cas, la tige porte un trait qui indique la position que doit occuper la loupe. Cela étant, on voit que l'image rétinienne reste la même quelle que soit la position de l'objet par rapport à l'instrument grossissant.

Ce cas offre un intérêt purement théorique. Dans la pratique, en effet, la coïncidence dont nous venons de parler ne se trouve jamais réalisée, sauf peut-être dans des cas tout à fait fortuits et passagers. D'ailleurs, le déplacement des points nodaux de l'œil (centre optique) sous l'influence de l'accommodation, rend cette réalisation impossible.

Enfin, la question du grossissement étant mise à part, nous ferons remarquer que l'appareil peut encore servir à toutes les expériences relatives à la vision, dans le cas de l'œil normal et des différentes amétropies. Il suffit, pour cela, de supprimer la lentille loupe. Il reste alors, en présence d'un objet, un œil artificiel qui s'accommode et qui peut être rendu à volonté myope ou hypermétrope. On peut aussi le rendre presbyte en empêchant l'accommodation d'atteindre son maximum normal. L'astigmatisme lui-même peut être réalisé au moyen d'une lentille cylindrique L' s'adaptant sur le système optique de l'œil artificiel.

Qu'il me soit permis, en terminant, de remercier ici M. Ducretet du soin qu'il a bien voulu apporter à la construction de cet appareil, et d'émettre le vœu que la question du grossissement présentée sous cette forme simple soit bientôt tirée de l'oubli où elle semble tombée depuis les Communications de M. Guébhard et de M. Gariel, pour être enseignée dans nos écoles. Si l'appareil que je

viens d'avoir l'honneur de présenter à la Société peut, à ce sujet, rendre quelques légers services, le but que je me suis proposé en le faisant construire sera atteint.

---

## *Saccharimètre à franges et à lumière blanche;*

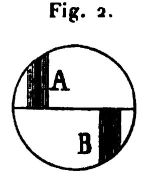
par MM. Th. et A. Duboscq.

Tout saccharimètre optique est composé d'un *polariseur* et d'un *analyseur*, mis à l'extinction (c'est-à-dire dont les sections principales sont croisées à angle droit), et d'un *polariscope* rotatoire utilisant l'observation d'un phénomène particulier au polariscope que l'on a choisi.

Dans notre appareil nous avons fait usage du polariscope de de Senarmont, dont nous avons modifié les angles pour lui donner une très grande sensibilité. Il est formé de deux systèmes égaux et inverses, composés chacun de deux prismes en quartz taillés perpendiculairement à l'axe et de rotation contraire. Ainsi constitué, ce polariscope étant placé entre deux nicols à l'extinction, on observe deux *franges noires et droites* situées exactement dans le prolongement l'une de l'autre (*fig.* 1). Ces franges se forment au point où les épaisseurs de quartz droit et gauche sont égales; la rotation du plan de polarisation est alors nulle.

Fig. 1.

Fig. 2.




Si l'on introduit une substance douée d'un pouvoir rotatoire (droit par exemple), les franges seront déplacées en sens inverse l'une de l'autre (*fig*. 2). Pour les ramener en ligne droite, il faudra ajouter une quantité de quartz gauche équilibrant le pouvoir rotatoire droit de la substance interposée. Ce résultat sera obtenu par le jeu des lames prismatiques d'un compensateur en quartz, et le

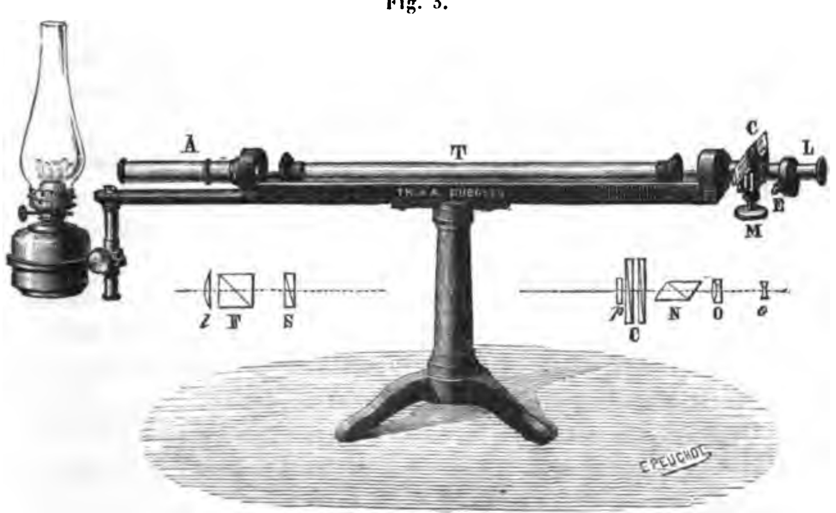
nombre de divisions que le compensateur aura parcourues pour ramener les franges exactement en ligne droite permettra de déterminer la proportion de sucre contenu dans la liqueur analysée.

*Description de l'appareil.* — La partie optique est composée de la façon suivante (*fig.* 3) :

*l*, lentille servant à éclairer uniformément tout le champ du polariscope;
F, polariseur Foucault;
S, polariscope de Senarmont.

Ces trois pièces sont contenues dans la monture A.

Fig. 3.




T, tube contenant le liquide à analyser;
C, compensateur à lames prismatiques en quartz gauche;
*p*, lames à faces parallèles en quartz droit équilibrant au point zéro la somme des épaisseurs des lames prismatiques en quartz gauche;
N, nicol analyseur;
O, *o*, objectif et oculaire de la lunette de Galilée L;

M, bouton faisant mouvoir les lames du compensateur et par suite l'échelle divisée;

E, vis de réglage à tête carrée pour le rappel au zéro.

*Réglage.* — Cet appareil permet d'employer la lumière blanche : les rayons lumineux sont alors fournis par une simple lampe à pétrole à mèche plate.

On commence par placer la lampe sur son support fixé à l'extrémité de l'appareil et à la régler en tous sens, de façon que la flamme vue sur la tranche, et non pas sur la partie large, soit rigoureusement dans le prolongement de l'axe optique de l'instrument; les franges apparaissent alors avec beaucoup de finesse et de netteté.

Le placement de la lampe doit être fait avec beaucoup de soin, sans quoi les franges paraissent larges, irrégulières, troubles et les parties brillantes formant le champ de vision sont inégalement éclairées. Afin d'éviter des tâtonnements ennuyeux, nous traçons sur la lampe et sur son support des traits de repère qui permettront d'effectuer ce réglage très rapidement.

On met ensuite la *lunette au point*, en tirant la bague molletée portant l'oculaire *o* de la lunette L, de façon à voir bien nettement la ligne de séparation des deux demi-disques AB (*fig.* 1) contenant les franges.

Au moyen du bouton M, on amène le zéro du vernier en coïncidence avec le zéro de l'échelle divisée; on reporte l'œil à la lunette pour voir si les franges sont exactement en ligne droite comme à la *fig.* 1. Si, au contraire, les franges sont déplacées d'une quantité aussi faible qu'elle soit, on les ramènera exactement en ligne droite en tournant l'analyseur à l'aide de la vis E placée sur le côté du tambour auquel est attachée la lunette.

Ce réglage peut être fait sans tube sur l'appareil ou avec un tube contenant seulement de l'eau pure.

*Mesure.* — L'appareil ainsi réglé au zéro et les franges mises bout à bout (*fig.* 1), si l'on place un tube contenant une solution sucrée, les franges sont déplacées (*fig.* 2); il suffit alors de faire marcher le *compensateur* à l'aide du bouton M jusqu'à ce que les franges soient de nouveau en ligne droite : puis on lit sur l'échelle

le nombre de degrés parcourus. Notre saccharimètre porte *deux divisions :* celle du dessous (commune à tous les saccharimètres) correspond au centième de millimètre d'épaisseur de quartz; celle du dessus indique le nombre de grammes de sucre contenu dans $100^{cc}$ de solution, en sorte que le point 100 de la division inférieure correspond pour la division supérieure à $16^{gr},20$, poids normal indiqué par MM. A. Girard et V. de Luynes.

Les sirops trop colorés doivent être décolorés par l'addition de $\frac{1}{10}$ en volume de sous-acétate de plomb liquide; dans ce cas on ajoute $\frac{1}{10}$ au nombre trouvé sur l'échelle.

*Remarque.* — On sait que la *trempe* ou la *compression* des galets de verre qui ferment les tubes dans lesquels on introduit les liquides à analyser est souvent une cause d'erreur dans les observations de saccharimétrie optique.

Dans notre appareil cette erreur ne se produit pas, et il est facile d'en faire l'examen de la façon suivante : l'appareil étant réglé au zéro, on prend un tube vide dont on comprime les galets, on place ce tube sur l'appareil : on voit alors que les franges sont élargies et ont perdu toute netteté; mais, en tournant le tube sur lui-même, on trouve toujours une position suivant laquelle les franges reprennent leur finesse et leur netteté; on observe alors que le zéro optique n'a pas varié, c'est-à-dire que les franges sont exactement en ligne droite comme primitivement.

Toutefois, cette compression ne doit pas aller jusqu'à déformation notable des surfaces, car, en ce cas, il n'y a plus de netteté possible, les franges se courbent, et le galet doit être rejeté.

Si le tube est plein de liquide sucré, il faudra, par conséquent, le tourner sur lui-même et choisir la position où les franges sont nettes en cas de trempe ou de compression des galets.

---

## SÉANCE DU 19 MARS 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 mars est lu et adopté.

M. le Président annonce la perte douloureuse que la Société vient de

faire par la mort de M. Félix Le Blanc, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, ainsi que celle de M. Lallemand, Membre correspondant de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

M. Laurent présente à la Société des *objectifs* exécutés au moyen de *méthodes pratiques*, permettant d'arriver sûrement à la limite possible. M. Cornu a bien voulu en calculer les courbes.

Pour exécuter un objectif, les conditions *principales* à remplir sont d'avoir des surfaces *sphériques* et bien *centrées*. Quand l'objectif essayé est reconnu mauvais, on ne sait si le défaut provient des surfaces, du centrage ou de la matière.

M. Laurent a cherché à distinguer ces différents cas.

Pour la *matière*, on n'a pas de règle précise pour la rejeter.

*Surfaces*. — On n'a rien pour les contrôler, dans les ateliers. M. Laurent a étendu la méthode des *anneaux colorés*, de M. Fizeau, aux *courbes*; mais ici les difficultés sont encore plus grandes que pour les surfaces planes. Ces anneaux montrent si la surface comparée à un *type* est plus concave ou plus convexe, si elle est de révolution, si le centre est *creusé* et les bords *rabattus*, etc.

*Types*. — Pour les faire, on travaille deux surfaces (une concave et une convexe), on les polit très peu, juste assez pour voir les anneaux et déformer les surfaces le moins possible; on les examine sur un appareil à lumière monochromatique spécial, de M. Laurent, et l'on affecte à chacune des deux surfaces la moitié des erreurs constatées; elles ne dépassent pas ici $\frac{1}{8}$ de micron.

Si le foyer des rayons d'interférences, réfléchis par les surfaces en contact, est compris entre $0^{m},20$ et $0^{m},40$, on voit les anneaux directement; s'il est plus petit, on interpose entre les surfaces et l'œil une lentille divergente ordinaire; s'il est plus grand, une lentille convergente. On a une latitude pour leurs foyers; les supports se déplacent en conséquence.

*Centrage des surfaces*. — Une surface est polie et l'autre *préparée*; pour voir si les bords sont de même épaisseur, M. Laurent a imaginé un *comparateur optique*. C'est un support incliné sur lequel le verre repose au moyen de trois pointes et s'appuie sur deux arrêts inférieurs; on tourne le verre sur lui-même; s'il n'est pas d'égale épaisseur, il fera osciller une équerre portant un miroir, le support est placé sous une lunette à *autocollimation*; l'image des fils éclairés, après réflexion sur le miroir, vient se former sur eux-mêmes; le déplacement de l'image indique les différences d'épaisseur; l'amplification est de 800 fois.

*Essais des objectifs*. — Le procédé le plus *commode* est l'emploi du *focomètre Laurent*. On essaye l'objectif *sans monture*, par tous les temps; les défauts sont *doublés*; on juge de l'achromatisme, de l'astigmatisme, etc.

Les objectifs présentés ont $0^{m},070$ de diamètre et $0^{m},735$ de foyer.

M. Laurent donne des explications sur ses appareils et ses méthodes, au moyen de figures sur le tableau.

A la fin de la séance, il fait voir au moyen de son focomètre, qui porte un microscope grossissant 30 fois et des divisions sur verre au $0^{mm},01$, que l'image *réfléchie* par l'objectif est très nette et démontre qu'il est tout près de la limite assignée par Foucault pour le *dédoublement* des images des objectifs.

M. le colonel Sebert entretient la Société de quelques résultats curieux obtenus accidentellement dans le tir de projectiles à avant légèrement bombé, lancés à petite distance contre des plaques minces de cuivre rouge.

Dans une première expérience effectuée avec un canon de $0^{m},24$ et un projectile cylindrique en acier terminé par une calotte sphérique de $0^{m},02$ de flèche, un projectile de $144^{kg}$ fut lancé avec une vitesse de $400^{m}$ contre une plaque de $8^{mm}$ d'épaisseur placée verticalement à $0^{m},62$ de la bouche à feu. Le projectile découpa dans la plaque un disque d'un diamètre égal au sien qui fut retrouvé dans la chambre à sable adhérent à sa calotte antérieure dont il avait épousé la forme. L'adhérence était telle que les deux pièces ne purent être séparées qu'à l'aide d'un burin.

La face de la rondelle en contact avec le projectile était sillonnée, à partir du tiers environ du rayon et jusqu'au bord de la rondelle, de stries ou ondes concentriques, régulières et de dimensions croissantes avec le diamètre. Une quarantaine de lignes radiales régulièrement espacées coupaient normalement ces ondulations. Au centre, la plaque restée lisse et polie portait les traces d'une forte élévation de température. Cette partie lisse était bordée d'une zone noire formée par un dépôt charbonneux provenant des gaz de la poudre. Les ondulations apparaissaient dans cette zone à peine perceptibles d'abord, puis croissant jusqu'à atteindre près des bords une largeur de $5^{mm}$ et une profondeur de $1^{mm},8$.

L'autre face de la rondelle était restée lisse; l'épaisseur du métal était réduite à $6^{mm},5$.

La face avant du projectile d'acier portait l'empreinte exacte des ondulations de la plaque, de sorte que l'on est conduit à admettre que, par suite de leur grande vitesse, au moment où la rencontre du projectile les a saisies dans leur mouvement ondulatoire, les particules de cuivre ont creusé leur logement dans l'acier.

Avec des plaques de cuivre de $4^{mm}$ d'épaisseur, les résultats furent identiques, quoique un peu moins nets, parce que les rondelles étaient souvent déchirées.

Des essais méthodiques furent entrepris avec un canon de $0^{m},10$ pour étudier les lois du phénomène. Les projectiles en fonte s'étant toujours brisés, on eut recours à des projectiles garnis à l'avant d'une mise d'acier de $2^{cm}$ à $3^{cm}$. Lorsque la mise était plane, elle était constamment brisée sans donner trace d'empreintes : on fut par suite conduit à lui donner la forme d'une calotte de $0^{m},02$ de flèche. Les plaques de cuivre placées verticalement à $0^{m},27$ de la bouche eurent des épaisseurs variables de $2^{mm}$ à $8^{mm}$. La vitesse initiale varia de $400^{m}$ à $510^{m}$.

Dans ces conditions on retrouva sur les plaques et sur les mises des empreintes identiques à celles décrites précédemment : centre lisse, zone noire et ondulations croissantes; seulement les ondulations s'arrêtaient avant d'avoir atteint le bord de la plaque, parfois elles reprenaient après une interruption.

M. le colonel Sebert a dû interrompre ces expériences avant leur complet achèvement, mais il a tenu à rendre dès maintenant compte à la Société des résultats qu'il a déjà obtenus.

Dans l'état actuel des expériences, il croit pouvoir expliquer les phénomènes observés par un véritable écoulement du cuivre, écoulement produit du centre à la circonférence sous l'action de l'énorme pression développée d'abord dans la partie centrale de la plaque par l'avant bombé du projectile. Les ondes seraient produites successivement par les pressions qui s'exercent sur le cuivre dans des zones concentriques, tandis que s'accroît la surface de contact des deux corps, et leurs dimensions iraient en augmentant du centre à la circonférence par suite de la durée croissante qui s'écoule entre le premier choc et le contact du projectile avec les divers points d'un même rayon. Les sillons rayonnants seraient des plis résultant de l'application de la surface plane de la plaque sur la sphère qui limite le boulet.

Pour une vitesse du projectile de $400^{m}$ le phénomène se passe tout entier en $\frac{1}{20000}$ de seconde.

Dans le cas du projectile de $0^{m},24$ les ondulations doivent se propager avec une vitesse de $2400^{m}$ à la seconde. Cette très grande vitesse permet de s'expliquer que le mouvement des particules de cuivre ait pu creuser l'acier du projectile.

M. D'ARSONVAL présente à la Société un galvanomètre à circuit mobile, de haute sensibilité, qu'il a disposé pour ses recherches physiologiques.

On sait que, dans le galvanomètre Deprez dit *à arête de poisson*, M. d'Arsonval avait eu l'idée de fixer l'arête et de rendre le cadre libre : c'est le galvanomètre Deprez-d'Arsonval. Cet instrument, tel que le construit M. Carpentier, n'est pas assez sensible pour les besoins de la Physiologie.

Le nouveau dispositif présenté par M. d'Arsonval consiste à faire mouvoir le cadre galvanométrique dans un champ magnétique formé par deux aimants en fer à cheval, opposés par leurs pôles de même nom et bout à bout. Entre les quatre pôles se trouve un bloc de fer doux fixe, destiné à concentrer les lignes de force et à former quatre champs magnétiques agissant sur le cadre d'une manière concordante. Le tout est fixé sur une planchette qui se suspend au mur par un simple clou. Le fil de torsion s'attache au cadre par des vis et à la planchette par un treuil, de façon que son remplacement est des plus faciles.

Dans cet instrument, les champs magnétiques étant rigoureusement d'égale intensité, les déviations sont rigoureusement proportionnelles aux intensités. De plus on peut changer l'intensité des champs magnétiques, c'est-

à-dire la sensibilité de l'instrument, en éloignant les aimants plus ou moins. Ce galvanomètre jouit des mêmes propriétés apériodiques que le premier modèle de l'auteur.

L'instrument présenté à la Société a les constantes suivantes :

Résistance du cadre = 2 ohms.

En faisant la lecture au miroir à un mètre avec l'échelle Carpentier,

$$1 \text{ division de l'échelle} = \frac{1}{2\,100\,000} \text{ d'ampère.}$$

Une simple soudure en fer-maillechort donne 30 divisions de l'échelle pour une différence de température de 1°.

Le modèle à fil fin a 2000 ohms de résistance :

$$1 \text{ division} = \frac{1}{70\,000\,000} \text{ d'ampère.}$$

Cette sensibilité devient dix et vingt fois plus grande en employant l'échelle micrométrique décrite à la dernière séance par M. d'Arsonval.

M. d'Arsonval indique ensuite l'emploi des accumulateurs pour remplacer la pile dans la méthode de Poggendorff et du Bois-Reymond. M. d'Arsonval a vu un accumulateur donner pendant dix jours un courant de 1 ampère sans la moindre variation de la force électromotrice. On peut même charger l'accumulateur d'un côté pendant qu'il se décharge de l'autre, sans que la différence de potentiel soit troublée sensiblement. Dans ce cas M. d'Arsonval remplace l'accumulateur par un voltamètre à grande surface formé de deux lames de fer trempant dans une solution concentrée de potasse. C'est un excellent moyen pour avoir avec une pile quelconque, constante ou non, une différence invariable de potentiel.

---

## *Méthodes pratiques pour l'exécution des objectifs destinés aux instruments de précision;* par M. Léon Laurent.

Mes objectifs sont exécutés au moyen de méthodes pratiques, que je vais exposer et qui permettent d'arriver pas à pas et sûrement à la limite *possible*. M. Cornu a bien voulu en calculer les courbes, après avoir mesuré les indices du crown et du flint; les surfaces ont été réussies d'emblée et je n'ai pas eu à y retoucher.

Il n'est question ici que des objectifs pour spectroscopes, télémètres, goniomètres, etc., dans lesquels il est nécessaire d'obtenir

des pointés très précis ou des dédoublements de lignes très rapprochées et non des grands objectifs astronomiques.

Il ne faut pas non plus songer à *retoucher* les surfaces, elles n'ont pas assez d'étendue et il faut opérer relativement vite; si la surface n'est pas reconnue suffisamment bonne, on la refait en entier.

Pour exécuter un objectif, le crown et le flint étant choisis et les courbures calculées, les conditions *principales* à remplir sont de faire des surfaces *sphériques* et bien *centrées*. L'objectif terminé, on l'essaye et l'on constate qu'il est bon ou mauvais; dans ce dernier cas, on est très embarrassé pour savoir où est le défaut et, par suite, comment y remédier; dépend-il des surfaces (il y en a quatre), de leur centrage ou de la matière?

J'ai cherché à distinguer ces différents cas.

Le crown et le flint sont examinés d'abord comme *matière;* on polit des facettes, on recherche s'il y a des fils, des points, on constate la trempe : il y en a toujours, mais malheureusement on n'a pas de règle précise pour savoir quand il faut les rejeter.

*Surfaces.* — La matière étant choisie, je considère les surfaces : c'est le point principal; or, dans les ateliers, on ignore ce qu'elles sont; on n'a rien pour les contrôler. Elles n'ont pas toujours le *rayon* que l'on pense. On sait, par expérience, que les bords sont *rabattus :* ils le sont toujours et plus ou moins, suivant la main de l'ouvrier; quelques praticiens, pour éviter ce défaut, tombent dans un autre qui consiste à creuser le centre, et l'on a souvent ces deux défauts réunis : la surface n'est pas sphérique; le sphéromètre, peu employé pour ces petits objectifs, est d'ailleurs insuffisant.

La méthode des *anneaux colorés* de M. Fizeau m'ayant donné de très bons résultats dans l'exploration des surfaces planes [1], j'ai cherché à l'étendre aux surfaces *courbes;* mais ici les difficultés sont encore plus grandes, à cause de la densité des courbes.

J'ai disposé l'appareil (*fig.* 1).

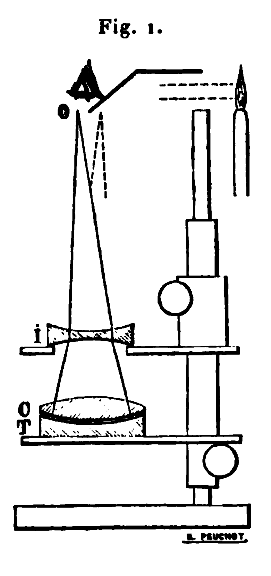
*Cliché.* — Soit, comme exemple, la surface d'un crown C à con-

---

[1] Voir *Seances de la Société de Physique*, année 1883, p. 770.

trôler. Je suppose que l'on possède un type T concave ; on place le crown sur le type T. Si les rayons d'interférence réfléchis par les deux surfaces en contact, T et C, ont leur foyer dans les environs de O, où l'on place l'œil, on verra les anneaux directement, mais le plus souvent il n'en est pas ainsi ; si le foyer est plus bas que O, on interposera une lentille divergente I, et, s'il est plus haut, une

Fig. 1.




lentille convergente. On peut employer des lentilles courantes, non achromatiques ; on a aussi une certaine latitude pour leurs foyers, car on peut faire varier la place de cette lentille et celle de la surface à examiner.

Quand on s'est familiarisé avec l'usage des *anneaux colorés*, on se rend compte d'un coup d'œil de la valeur d'une surface, comparée à un type connu. Suivant le nombre des anneaux révélant une forme plus concave ou plus convexe, leurs écartements, on voit si la surface est de *révolution*, comment varie le rayon de courbure du centre aux bords, c'est-à-dire si le centre est *creusé*, les bords *rabattus*, etc. En pressant légèrement les surfaces, on obtient à volonté des anneaux ou des *franges ;* ces dernières montrent le profil (très agrandi dans le sens des ordonnées) de la *coupe* de la surface ; ces indications sont précieuses et complètent celles données par les anneaux.

*Types.* — On ne peut faire pour chacun d'eux les sacrifices que l'on fait pour un plan type unique; dans ce cas, il suffit de travailler une fois trois surfaces, tandis que pour *chaque* type de courbe il faudrait travailler quatre surfaces et les comparer deux à deux, ce qui entraînerait beaucoup trop loin, mais avec des précautions on peut arriver à un bon résultat. On travaille deux surfaces (une concave et une convexe), on les polit très peu, juste assez pour voir les anneaux; de cette façon les surfaces sont déformées le moins possible et on les examine sur l'appareil (*fig.* 1); on n'est pas loin de la vérité en affectant à chacune la moitié des déformations constatées, il suffit qu'elles soient très faibles; or on peut répondre d'une surface à un anneau près, soit un tiers de micron; c'est une limite, car une légère différence de température suffit pour faire apparaître ou disparaître un anneau.

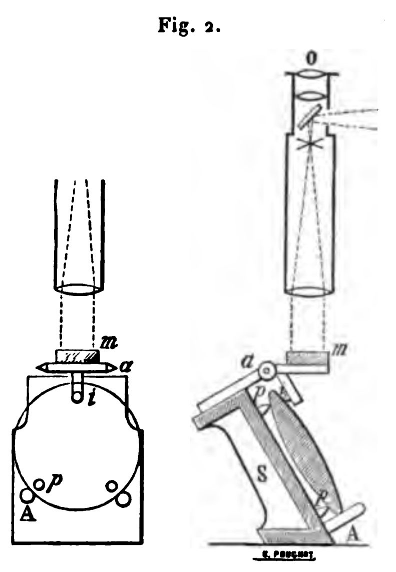
On peut simplifier en prenant pour l'une des deux surfaces une de celles de l'objectif lui-même et en faisant le type un peu plus grand de diamètre pour éliminer l'influence de ses bords. Les différences entre les surfaces exécutées et celles géométriques ne dépassent pas un anneau.

*Centrage des surfaces.* — Une des surfaces du crown ou du flint est polie et reconnue bonne, l'autre est *préparée;* il s'agit de voir si elle est bien centrée et si on peut la polir. Cette condition sera remplie si les bords sont rigoureusement de même épaisseur, le verre étant d'ailleurs débordé rond. Pour la vérifier, j'ai imaginé la disposition (*fig.* 2) qui peut s'appliquer à un grand nombre de cas.

Un support incliné, S, porte trois pointes : l'une est fixe et les deux autres sont mobiles, suivant le diamètre des verres; le verre est posé sur ces pointes et s'appuie sur deux arrêts inférieurs A qui lui donnent une position bien déterminée; à la partie supérieure, une équerre, mobile autour de l'axe *a*, porte deux bras : l'un s'appuie sur le verre par une pointe en ivoire *i*, l'autre porte un miroir *m*. Si l'on fait tourner le verre sur lui-même et s'il n'est pas d'égale épaisseur, l'équerre oscillera. Ce petit appareil est placé sous une lunette à *autocollimation,* semblable à celles que j'emploie dans mes appareils à contrôler les surfaces planes. Les fils de la lunette (*fig.* 2) sont éclairés sur le côté; leur image,

après réflexion sur le miroir *m*, vient se former sur eux-mêmes; les mouvements très amplifiés du miroir ont pour effet de déplacer cette image et, par suite, d'indiquer les différences d'épaisseur; c'est un *comparateur optique* dont le petit levier seul est matériel, le grand est égal au foyer de l'objectif de la lunette; l'*amplification* est doublée par la réflexion et multipliée par le grossissement de l'oculaire, égal ici à environ huit cents fois, ce qui est plus que suffisant.

Fig. 2.




Une ovalité dans le débordage n'aurait aucune influence sur la *détermination* des épaisseurs, si l'on a soin de placer les arrêts A à 45°. En faisant tourner le verre, on déplacerait son centre; au moyen d'une épure on verrait que le lieu géométrique du déplacement se confond avec un arc de cercle tracé du point *i* comme centre, de sorte que l'on mesure toujours les épaisseurs à une même distance du centre du verre.

*Essais des objectifs.* — Ici encore, il y a un choix à faire parmi les divers procédés en usage; généralement on vise une affiche ou une mire placée à une certaine distance; un moyen meilleur consiste à viser des objets se détachant sur le ciel, tels que

des tuyaux de cheminée, mais ces procédés ne sont pas toujours facilement applicables.

Le plus *commode* et le plus *précis* est l'emploi de mon *focomètre* ([1]). On peut opérer dans un espace très restreint; on essaye l'objectif *sans monture* et non biseauté par tous les temps; on apprécie de très faibles différences de foyers, ce qui permet d'explorer l'objectif dans différentes zones concentriques : le centre, les bords, etc., au moyen de diaphragmes; les défauts sont *doublés,* ce qui les rend très apparents; on peut éclairer avec des lumières diversement colorées et juger de l'achromatisme; l'emploi du quadrillé éclairé, sur fond noir, révèle facilement l'astigmatisme, etc.

*A première vue,* l'objectif est déjà presque complètement *jugé;* ensuite on fait usage des diaphragmes. Si l'on veut pousser plus loin et apprécier son degré de *pénétration,* on remplacera l'oculaire par un microscope et le quadrillé par des divisions fines connues.

Parmi une série d'objectifs exécutés et essayés au moyen de ces méthodes, les uns étaient très bons et les autres présentaient de l'astigmatisme; or les surfaces sont reconnues bien sphériques, le centrage est plus que suffisant, le défaut ne peut donc provenir que de la matière : non-homogénéité du verre, trempe irrégulière, et il faut, sans hésiter, rejeter le crown ou le flint reconnu mauvais pour ce but spécial, ou classer l'objectif dans un deuxième choix; ces défauts (relativement légers) ne pouvaient se constater d'*avance* et le moins bon de ces objectifs astigmatiques donne de bonnes images en visant une affiche ou une cheminée.

Avec les moyens ordinaires, on referait quelques surfaces un peu au hasard et sans obtenir d'améliorations; au contraire, peut-être.

J'ai tenu à vérifier si j'étais près de la *limite* assignée par Foucault pour le *dédoublement* des images des objectifs. J'ai alors remplacé l'oculaire du focomètre par un microscope grossissant trente fois et le quadrillé par des divisions au diamant sur verre. Les traits étant espacés de $0^{mm},01$, un objectif de $70^{mm}$ de dia-

([1]) Voir *Séances de la Société de Physique,* année 1885, p. 52.

mètre et de 735mm de foyer donne une image *réfléchie* très nette, et l'on voit qu'on peut aller plus loin ; cela équivaut à un dédoublement de 2″ environ ; or la limite serait 1″,8 (on remarquera que l'objectif travaille ici deux fois).

Pour vérifier un objectif d'une provenance quelconque, on ne pourra contrôler les surfaces par la méthode des anneaux colorés, car les types correspondant à ses propres courbes n'existent pas, et pour les faire il faudrait avoir les outils mêmes qui ont servi à travailler cet objectif ; on pourra avoir recours alors au *focomètre*.

On essayera d'abord l'objectif complet à la lumière ordinaire et au moyen des diaphragmes, puis on pourra essayer le crown et le flint séparément, avec la lumière monochromatique. Le crown sera posé sur le plan du focomètre comme à l'ordinaire, et le flint sur un miroir *concave* dont le rayon de courbure sera un peu plus petit que le foyer du flint. On peut aussi essayer directement la surface *concave* du flint agissant comme miroir concave.

MM. Cornu, Mascart et Wolf ont eu l'extrême obligeance de me confier quelques objectifs d'instruments appartenant à nos premiers établissements scientifiques, et de faire la comparaison avec moi. Quelques-uns ont été reconnus de suite franchement mauvais et d'autres bons ; dans ceux-ci la différence de netteté, en passant du centre aux bords, a été un peu plus grande que dans mes objectifs.

---

## *Galvanomètre apériodique de grande sensibilité ;*

par M. d'Arsonval.

Cet appareil, représenté en coupe (*fig.* 1), conserve le principe général de la conception première. La forme du champ magnétique et le dispositif général ont été néanmoins profondément modifiés en vue du nouveau but à atteindre.

Le cadre galvanométrique est suspendu équatorialement par son plus grand diamètre au moyen de deux fils métalliques AB et CD. Il oscille autour d'un prisme de fer doux F fixe, servant à renforcer le champ magnétique. Deux puissants aimants en fer à cheval NS, N′S′, opposés par leurs pôles de mêmes noms, forment autour du

cadre un quadruple champ magnétique dont les actions sont concordantes pour dévier le cadre dans une même direction.

Le fil CD est relié à un ressort D permettant à la fois de tendre le fil et de lui donner une torsion autour de son axe pour ramener au zéro. Le fil AB vient s'enrouler sur le treuil B comme dans la balance de Coulomb. Enfin ces deux fils sont fixés au cadre mobile en A et en C à l'aide de simples vis, ce qui permet de les changer avec facilité en cas de rupture.



Fig. 1.




Par suite de la disposition des aimants le champ magnétique est forcément d'égale intensité dans toute son étendue, ce qui fait que *les déviations de l'appareil sont rigoureusement proportionnelles aux intensités.*

De plus, on peut éloigner les aimants sans altérer l'homogénéité du champ, *ce qui diminue la sensibilité de l'appareil sans avoir recours aux shunts.* En se plaçant à $1^m$ de l'appareil avec l'échelle Carpentier et avec des fils de torsion de $\frac{15}{100}$ de millimètre de diamètre, l'appareil présente les constantes suivantes :

1° Cadre gros fil ayant $2^{ohms}$ de résistance :

1 division de l'échelle = $\frac{1}{1000000}$ d'ampère;

2° Cadre fil fin ayant $1000^{ohms}$ de résistance :

1 division de l'échelle = $\frac{1}{70000000}$ d'ampère.

Avec l'échelle micrométrique décrite ci-dessus, la sensibilité devient vingt fois plus grande. On peut encore l'augmenter beaucoup en prenant un fil de suspension de $\frac{1}{10}$ de millimètre de diamètre seulement.

Ces appareils étant insensibles aux variations du magnétisme terrestre sont excellents pour enregistrer d'une façon continue, comme je le fais par la photographie, les variations de la chaleur ou de l'électricité animale.

Avec une simple soudure composée de deux fils fer maillechort, le cadre de $2^{ohms}$ donne $30^{div}$ de l'échelle pour une différence de 1° C. entre les deux soudure thermo-électriques. Enfin, comme le tout est monté sur une planchette, un simple clou, fixé au mur, sert de support à l'instrument.

---

## SÉANCE DU 2 AVRIL 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 mars est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Dussy, Professeur de Physique au lycée de Dijon.

M. le Secrétaire général signale dans la Correspondance l'avis de la publication de la reproduction photographique du spectre solaire obtenu par M. Rowland au moyen d'un réseau concave de 21,5 pieds de distance focale et de 6 pouces de diamètre. Cette publication forme un album de sept planches vendu au prix de 10 dollars.

M. le Secrétaire général donne lecture d'une Note de M. Donato Tommasi, sur *L'effluvographie ou obtention de l'image par l'effluve.*

M. Boudet de Paris reproduit devant la Société la réclamation de priorité qu'il a déjà adressée à l'Académie et montre par des dates authentiques que ses publications sur les effets photographiques de l'effluve électrique sont antérieures à celles de M. Tommasi.

M. Léon Godard présente à la Société une double lunette photométrique à lumière polarisée. Cet appareil, imaginé par M. P. Desains, a été construit par MM. J. Duboscq et Ph. Pellin, et légèrement modifié dans la suite par M. Godard.

Il se compose d'un oculaire positif, d'un parallélépipède en crown à double réflexion. Les deux tubes de la lunette portent des objectifs égaux, des foucaults identiques fonctionnant comme polariseurs, et enfin des nicols identiques analyseurs. L'un des nicols peut tourner autour de l'axe de l'un des tubes, et une alidade mobile sur un petit cercle divisé indique la position de ce nicol.

Enfin cette lunette photométrique est mobile le long d'un cercle divisé vertical, passant entre les deux tubes.

M. Léon Godard indique rapidement la disposition expérimentale dont il se sert pour étudier, à l'aide de cet appareil, la réflexion et la diffusion de sa lumière.

M. d'Arsonval décrit le calorimètre à air qui lui sert pour étudier les conditions physiologiques qui modifient la thermogenèse chez l'homme.

Cet appareil se compose essentiellement d'une grande cloche verticale à double paroi. Dans la partie centrale se place l'homme en expérience. La partie annulaire, hermétiquement close, contient de l'air en communication avec une des branches d'un manomètre à eau. Par la présence de l'homme en expérience le calorimètre s'échauffe jusqu'à ce que la perte par rayonnement soit égale à la production. La hauteur du manomètre à eau donne la mesure de cette production après une graduation préalable au moyen d'une source de chaleur dont l'intensité est connue.

Pour éviter toute correction de température et de pression, M. d'Arsonval met la seconde branche du manomètre en communication avec un espace clos plein d'air. *L'appareil devient ainsi un grand thermomètre différentiel à air dont un des réservoirs est creux et enveloppe l'être en expérience.*

Pour enregistrer, on supprime le manomètre et on le remplace par deux petites cloches suspendues aux extrémités d'un fléau de balance.

Ces cloches plongent dans une cuve à eau et sont mises par un tube central en communication avec chacun des réservoirs qui sont alors d'égale capacité.

L'appareil est soustrait, comme avec le manomètre, aux variations thermométriques et barométriques. Quand le calorimètre s'échauffe, la cloche gazométrique correspondante se soulève, et comme le fléau de la balance porte un levier inscripteur, la hauteur et les phases de ce soulèvement s'inscrivent d'une manière continue sur un cylindre enregistreur.

Un appareil semblable, mais de plus petites dimensions, sert pour l'étude des animaux de petite taille.

Cette méthode, très sensible, permet à l'auteur d'évaluer chez l'homme le rapport qui existe entre le travail et la thermogenèse. M. d'Arsonval signale d'intéressants résultats déjà obtenus par cette méthode, et qui redressent certaines erreurs accréditées en Physiologie.

M. d'Arsonval présente un modèle, format montre, de son téléphone à pôles concentriques. Cet appareil, construit sur ses indications par M. de Branville, se compose d'un aimant plat découpé à l'emporte-pièce d'une manière particulière qui permet de le loger facilement. Le téléphone se trouve ainsi réduit à une simple boîte très portative. L'appareil sous cette forme ne perd aucune de ses qualités de force et de netteté.

M. de Romilly complète ses communications précédentes sur une machine rotative élévatoire. Le problème nouveau consistait à élever l'eau par aspiration jusqu'au niveau de la turbine par un tube ininterrompu, d'une section au moins égale à celle du tube d'ascension et ne présentant nulle part ni soupapes ni étranglement. Un appareil du genre de ses appareils à faire le vide, mais profondément modifié dans ses formes essentielles, résout la question. L'expérience est faite pendant et après la séance. M. de Romilly fait remarquer que, par cette dernière adjonction, ce nouveau système est entièrement parallèle au système des pompes, puisqu'on a l'aspiration, l'ascension de l'eau, la production du vide, la soufflerie, etc.

M. Lippmann présente un électromètre absolu formé essentiellement d'une sphère métallique isolée, que l'on porte au potentiel V que l'on désire connaître. Cette sphère se trouve partagée, par construction, en deux hémisphères mobiles l'un par rapport à l'autre, et qui se repoussent avec une force égale à $f$, lorsque leur système est électrisé.

Or on a entre $f$ et V la relation simple et facile à démontrer

$$f = \frac{1}{8} V^2.$$

Pour avoir V, il suffit donc de mesurer $f$. Cette mesure pourrait être effectuée par divers procédés; M. Lippmann s'est arrêté au suivant :

D'abord, si l'appareil destiné à mesurer $f$ était extérieur à la sphère métallique, on serait obligé de le mettre assez loin pour que son voisinage n'exerçât pas d'action perturbatrice sensible sur la distribution électrique. Il est préférable de le mettre tout entier à l'intérieur même de la sphère électrisée, qui est creuse.

L'un des hémisphères est fixe; l'autre, mobile, est suspendu par un système *trifilaire*, c'est-à-dire composé de trois fils verticaux d'égale longueur. Lorsque la répulsion se produit, l'hémisphère mobile ne peut que se déplacer parallèlement à lui-même, les trois fils de la suspension faisant alors un petit angle $\alpha$ avec leur première position verticale. On mesure $\alpha$

par la méthode de la réflexion, à l'aide d'un miroir collé à deux des fils, et visible à travers une petite ouverture [1]. On voit qu'en appelant $p$ le poids de l'hémisphère mobile, on a

$$f = p \operatorname{tang} \alpha$$

et, par conséquent,

$$p \operatorname{tang} \alpha = \frac{1}{8} V^2.$$

Il suffit donc de connaître le poids $p$, qui est invariable; quant au rayon de la sphère, on voit que sa valeur est indifférente.

Dans un second exemplaire du même instrument, mis sous les yeux de la Société, le système des deux hémisphères est contenu à l'intérieur d'une enveloppe sphérique concentrique en cuivre que l'on met en communication avec la terre. Ce dispositif augmente la sensibilité de l'instrument et le met à l'abri des courants d'air, ainsi que des perturbations électriques extérieures.

Si l'on appelle $a$ et $b$ les rayons des deux sphères concentriques, on a la formule

$$\frac{1}{8} \frac{b^2}{(b-a)^2} V^2.$$

Ici l'on a

$$a = 3^{cm},9, \qquad b = 4^{cm},92, \qquad p = 3^{gr},322.$$

Il s'ensuit que, si l'on place une échelle divisée en millimètres à $1^m$ de la règle, on a, pour valeur de la déviation,

$$d = 0,00373 \, V^2.$$

Si l'on exprime V en volts, on a

$$d = 0,0000140 \, V^2.$$

Il est avantageux de multiplier optiquement la sensibilité de l'instrument en lisant les déviations à l'aide d'un oculaire de microscope grossissant de 15 à 50 fois, comme l'a proposé récemment M. d'Arsonval. On diminue alors dans le même rapport la déformation, d'ailleurs très petite, que subit le système des deux hémisphères par suite de la déviation.

---

(1) L'appareil a été construit par la maison Bréguet.

## *Double lunette photométrique à lumière polarisée* (¹);

### par M. Léon Godard.

Cet appareil (*fig.* 1), commandé par P. Desains en mai 1884, se compose d'un oculaire positif, de $0^m,01$ de foyer, d'un parallélépipède en crown PP à double réflexion. L'une des lunettes porte un objectif achromatisé, un foucault F faisant fonction de polari-

Fig. 2.

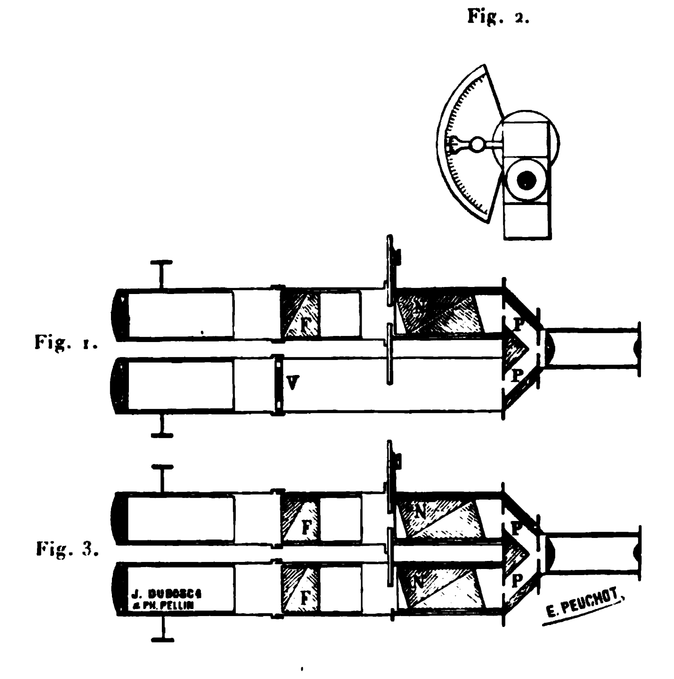



Fig. 1.

Fig. 3.

seur, un nicol analyseur N, pouvant tourner autour de l'axe du tube de cette lunette. Une alidade, mobile sur un petit cercle divisé (*fig.* 2), indique la position de ce nicol. L'autre lunette porte une lame de verre V, destinée à compenser le retard produit par le foucault et le nicol, ainsi qu'un objectif achromatisé dont la distance focale est différente de celle du premier objectif. Ces

(¹) Construite par MM. J. Duboscq et Ph. Pellin.

deux objectifs peuvent être déplacés au moyen de vis à crémaillère.

Cet appareil avait été imaginé par P. Desains pour servir aux recherches que j'avais entreprises au laboratoire d'enseignement de la Physique à la Sorbonne, sur la réflexion de la lumière. Malheureusement il ne put servir, car la lame de verre V et l'objectif correspondant ne donnaient pas une compensation suffisante pour permettre la mise au point.

La lunette fut modifiée sur mes indications en octobre 1884. Les deux tubes portent des objectifs égaux, de $50^{mm}$ de foyer, des foucaults F, F (*fig.* 3) identiques, ainsi que des nicols identiques N, N. Un petit bouton extérieur permet de donner un très faible mouvement de rotation au nicol du tube inférieur, de façon à amener l'égalité des deux images quand on commence les expériences.

Un faisceau horizontal de rayons parallèles, émanant d'une source unique, tombe sur un écran percé de deux ouvertures convenablement espacées, puis sur une glace inclinée, et enfin est concentré soit sur une plaque diffusante, soit sur un miroir poli. Les faisceaux diffusés ou réfléchis sont reçus dans les deux tubes de cette lunette photométrique qui est mobile le long d'un cercle divisé vertical, passant entre ceux-là, et dont le centre se trouve sur le miroir au point de symétrie des fentes lumineuses. On fait tomber tout d'abord les deux faisceaux sur le miroir qui doit servir de terme de comparaison; puis, le système étant réglé et l'un des faisceaux tombant sur ce miroir, on fait arriver l'autre sur la plaque réfléchissante que l'on veut étudier.

Cette disposition a l'avantage de n'employer qu'une seule source de lumière, et par suite de rendre constamment identique la composition des faisceaux incidents. On conçoit aisément la possibilité de se servir dans ces expériences de sources monochromatiques, ou de modifier à volonté la composition de ces sources, en interposant soit des cuves contenant différents liquides, soit des lames à faces parallèles formées de différentes substances, telles que sel gemme, alun, verres colorés, etc.

## *Calorimètre enregistreur applicable à l'homme;*

par M. d'Arsonval.

J'ai fait connaître, en 1879, une méthode permettant d'enregistrer pendant une durée quelconque, sans corrections, la quantité de chaleur dégagée par un être vivant. Cette méthode très précise n'est applicable qu'aux êtres vivants de petite taille, en raison de la construction des appareils qui la réalisent.

Pour pouvoir étendre mes recherches et les poursuivre sur l'homme lui-même, j'ai dû chercher une nouvelle méthode d'une installation simple et d'une exactitude néanmoins suffisante pour ce genre d'étude.

La méthode que j'ai imaginée en 1883, à cet effet, est une variante de la méthode calorimétrique par rayonnement, à laquelle j'ai apporté diverses modifications pour l'adapter à mes besoins.

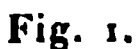
Voici en quoi consiste l'appareil destiné à la calorimétrie humaine :

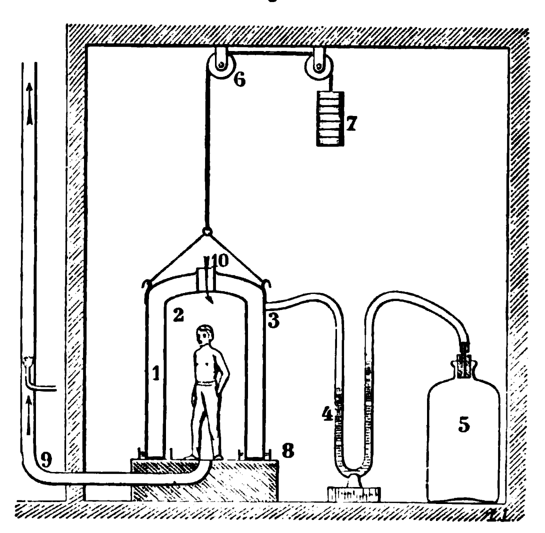
Le calorimètre proprement dit (*fig.* 1) se compose de deux vases cylindriques, en métal, placés concentriquement et limitant deux cavités distinctes : la première (1), annulaire, est hermétiquement close et communique seulement par la tubulure (3) avec un manomètre à eau (4), dont j'expliquerai ci-dessous l'usage. Cette cavité est pleine d'air. La seconde cavité (2) constitue l'intérieur du calorimètre, dans lequel est placé l'homme en expérience.

Le calorimètre est suspendu au plafond par une poulie (6) et équilibré par un poids (7). Sa base repose sur un socle (8), muni d'une rainure circulaire, remplie de glycérine, faisant fermeture hydraulique dans le cas où l'on veut faire en même temps l'analyse des gaz de la respiration.

Pour pénétrer dans l'instrument, on le soulève au-dessus du sol et on le laisse retomber dans la rainure une fois en place. Cette manœuvre ne présente aucune difficulté, grâce à la suspension de l'instrument. Au-dessus du socle débouche un tuyau (9), de $0^m,06$ à $0^m,08$ de diamètre, qui passe à travers la cloison de la

pièce où se trouve le calorimètre. La ventilation a lieu simplement par l'appel de la cheminée (9), dans laquelle brûle un bec de gaz muni d'un petit régulateur Giroud, c'est-à-dire à débit et à tirage constants. L'air extérieur arrive par la tubulure (10), et, comme la ventilation se fait ainsi de haut en bas, la température est bien uniforme dans l'intérieur de l'appareil.


Fig. 1.




Supposons maintenant l'appareil relié à un manomètre simple par le tube (3). Si une source de chaleur est placée en (2), elle réchauffe l'air de (1), et la température monte jusqu'à ce que la perte par rayonnement soit égale à la production. Cette augmentation de température se traduit à l'extérieur par le mouvement de la colonne du manomètre qui en donne la mesure.

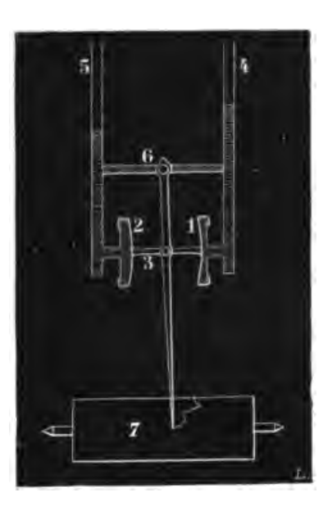
Ce calorimètre est, comme on le voit, *un grand thermomètre à air creux,* dans la cavité duquel la source de chaleur se trouve enfermée. On reconnaît aisément, dans ce dispositif, le principe des *régulateurs directs* que j'ai décrits autrefois ([1]), et l'on comprend, sans que j'insiste, tous les avantages de cette disposition.

---

([1]) *Comptes rendus* des 5 et 12 mars 1877.

La quantité de chaleur rayonnée par l'appareil (c'est-à-dire produite dans son intérieur) est proportionnelle à l'excès de température du calorimètre sur le milieu ambiant (loi de Newton); elle est donc proportionnelle à la hauteur de la colonne manométrique.


Fig. 2.




Si l'on employait un manomètre à air libre pour mesurer l'échauffement de la cavité (1), il faudrait tenir compte des variations barométriques et thermométriques du milieu ambiant pendant la durée de l'expérience. J'élimine à la fois ces deux corrections en reliant la seconde branche du manomètre à un récipient plein d'air (5) qui se trouve dans la même pièce que le calorimètre.

Grâce à cet artifice, le manomètre indique constamment l'excès de température du calorimètre sur le milieu ambiant, c'est-à-dire précisément la quantité à mesurer.

L'ensemble de l'appareil est donc un thermomètre différentiel à air analogue, aux dimensions près, à celui de Leslie et tout aussi sensible.

Pour graduer l'appareil *en calories* je fais brûler dans son intérieur un bec d'hydrogène pur à débit constant, dont la chaleur de combustion est connue; je note la hauteur correspondante du manomètre quand l'appareil est en équilibre et la graduation se trouve terminée.

La simple lecture du manomètre donne aussi à chaque instant la chaleur produite par l'être en expérience.


Fig. 3.




Si l'expérience doit durer peu de temps, je n'emploie pas le réservoir compensateur. Le manomètre contient de l'eau; on peut augmenter sa sensibilité à volonté, en inclinant plus ou moins le tube sur l'horizon. Cette précaution est inutile dans la plupart des cas. Pour inscrire sous forme de courbe continue les indications du manomètre, j'ai employé d'abord le dispositif figuré ci-dessus (*fig.* 2) et analogue à celui qu'a imaginé M. Marey pour son loch enregistreur; le fonctionnement de cet appareil se comprend à la seule inspection de la figure. Aujourd'hui, je préfère employer la photographie, en utilisant comme lentille cylindrique le tube plein d'eau du manomètre lui-même.

Un instrument analogue, mais plus petit et couché horizontalement, me sert pour les animaux de taille moyenne.

Enfin la *fig.* 3 représente un petit calorimètre, tout en verre, servant à mesurer la chaleur dégagée par les organismes microscopiques ou de petite taille (ferments, insectes, etc.) ou certaines réactions organiques. Le dégagement de chaleur se traduit par une dénivellation de la colonne manométrique qui en donne les phases et les valeurs.

A l'aide de ces appareils, j'ai entrepris une série de recherches tant sur l'homme sain (calorimétrie normale; action des modifi-

cateurs physiques : alimentation, vêtements, hydrothérapie, etc.) que sur l'homme malade (calorimétrie infantile). J'ai obtenu déjà d'intéressants résultats que je ferai connaître prochainement à la Société ([1]).

---

*Enregistreur automatique des calories dégagées par un être vivant;* par M. A. d'Arsonval.

Le thermomètre, employé seul en Physiologie, est incapable de nous indiquer les variations de la thermogenèse. Cela tient à ce qu'un animal ne rayonne pas à la façon d'un corps inerte. Grâce aux nerfs vaso-moteurs, la perte de chaleur par la périphérie du corps est variable à chaque instant, suivant que les capillaires de la surface cutanée sont plus ou moins dilatés. Un abaissement de la température centrale ne correspond pas toujours à une production de chaleur moindre, et inversement, comme je l'ai montré dans le cas des animaux vernis ([2]) ou huilés. La température centrale d'un lapin frotté d'huile s'abaisse beaucoup, et pourtant cet animal, placé dans le calorimètre, dégage de deux à trois fois plus de chaleur qu'à l'état normal. Les oiseaux, dont la température centrale est de 4° à 5° supérieure à celle des mammifères, ne font pas, *à poids et à surface égaux,* plus de chaleur que ces derniers, comme je l'ai montré également par le calorimètre ([3]), contrairement à l'opinion reçue. D'autre part, j'ai montré ([4]) que, *à température égale,* le pouvoir émissif de la peau humaine peut varier du simple au triple, suivant qu'elle est sèche ou enduite de corps gras. Pour toutes ces raisons, la calorimétrie directe peut

---

([1]) J'ai employé pour la première fois cette méthode en novembre 1883; j'ai montré les instruments dans mon cours du Collège de France, en février 1884, et j'en ai donné une description succincte, mais pour d'autres usages, dans la *Lumière électrique* du 18 octobre 1884. Je ne peux insister dans cette courte Note sur le maniement des appareils ni sur les petites modifications de détail apportées successivement pour en simplifier le fonctionnement.

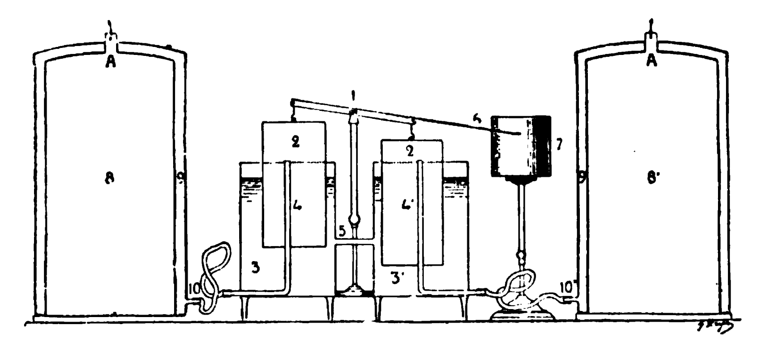
([2]) Société de Biologie, 1878.

([3]) Travaux du laboratoire de M. Marey, années 1878, 1879.

([4]) Société de Biologie, 1881

seule nous renseigner exactement sur les variations de la thermogenèse et sur les diverses conditions qui la modifient.

Pour enregistrer les phases de cette production d'une façon continue et sans corrections, j'ai simplifié beaucoup le dispositif appliqué au calorimètre que j'ai décrit dans la Note précédente. Le manomètre a été remplacé par l'appareil inscripteur représenté ci-dessus.




8,8', réservoirs calorimétriques.
9,9', matelas d'air.
1, levier de la balance.
2,2', cloches gazométriques.
4,4', tubes communiquant avec l'espace 9,9' par les tubulures 10,10'.
6, levier portant la plume.
7, cylindre enregistreur.

Il se compose essentiellement de deux cloches métalliques légères 2, 2', suspendues à chaque extrémité d'un fléau de balance équilibrée 1.

Chaque cloche plonge dans un réservoir plein d'eau 3 3', portant un tube central 4 4' qui dépasse le niveau de l'eau et qui, s'engageant sous la cloche correspondante, la transforme en un petit gazomètre d'une mobilité extrême.

L'intérieur de chaque cloche est mis en rapport par le tube central 4 4' avec la cavité d'un des calorimètres à air 9, 9'. Les calorimètres correspondant à chaque cloche sont identiques. Si une source de chaleur vient échauffer un des calorimètres, l'air se dilate et soulève la cloche correspondante à une hauteur qui sert de mesure à l'échauffement. Si les deux calorimètres sont échauffés également, les deux cloches se font équilibre et le fléau qui les

porte ne change pas de place. L'appareil se trouve donc soustrait, de ce fait, aux variations de la température et de la pression extérieures, comme dans l'appareil à manomètre compensé.

Les réservoirs d'eau communiquent entre eux par un tube latéral 5, qui identifie leurs niveaux.

Pour rendre l'appareil enregistreur, le fléau de la balance porte un levier 6, terminé par une plume à encre donnant un tracé sur un cylindre vertical 7, qui fait un tour en vingt-quatre heures.

La longueur du levier et la capacité des cloches gazométriques sont telles que la plume s'élève de $0^{m},01$ pour $1^{cal}$ à l'heure dégagée dans l'appareil. On peut d'ailleurs obtenir telle sensibilité qu'on désire. Une trompe (non représentée sur la figure) fait circuler dans l'instrument un courant d'air continu, et l'on peut doser en même temps l'oxygène absorbé et l'acide carbonique émis par l'animal en expérience, suivant les procédés que j'ai décrits.

On peut ainsi poursuivre une expérience pendant des journées et même des semaines entières sans avoir à effectuer aucune correction. Un cylindre enregistreur faisant un tour en huit jours, on est dispensé même de toute surveillance, et c'est ainsi que j'ai pu entreprendre la calorimétrie continue de l'inanition sur le cobaye, le lapin et la poule.

On peut à volonté faire des expériences absolues sur un animal isolé ou, au contraire, faire des expériences comparatives en plaçant dans chaque calorimètre un animal différent.

Cet instrument, qui est d'un maniement facile, répond, je crois, à tous les besoins de la calorimétrie physiologique, où les mesures comparatives ont souvent plus d'importance que les valeurs absolues.

*Calorimètre thermo-électrique.* — Le calorimètre à air demande d'une demi-heure à trois quarts d'heure environ pour être en équilibre et fournir une indication définitive. Ce temps est un peu long lorsqu'il s'agit de faire une expérience de cours. C'est pourquoi, dans mes leçons de l'an dernier, j'ai décrit à mon Cours un autre dispositif qui montre à un nombreux auditoire le pouvoir calorimétrique d'un animal dans l'espace de cinq minutes. Ce procédé n'est au fond qu'une variante du précédent et nécessite l'emploi du galvanomètre.

Le calorimètre à air tel que je viens de le décrire est un *thermomètre différentiel à air;* le calorimètre thermo-électrique, comme son nom l'indique, est un *thermomètre différentiel électrique.*

Il se compose de deux soudures thermo-électriques conjuguées (cuivre-fer); l'une d'elles (le calorimètre) est creuse et enveloppe l'animal, l'autre plonge dans l'air ambiant. L'animal rayonne à travers la soudure creuse qui l'entoure, l'échauffe, et le galvanomètre indique par sa déviation l'excès de température de cette soudure sur l'air ambiant. Un rayon lumineux projeté sur le miroir de l'instrument permet au plus nombreux auditoire de suivre la marche de l'expérience sur une échelle graduée que parcourt le rayon lumineux.

L'équilibre thermique est très rapidement obtenu dans ces conditions, et l'on mesure avec une précision extrême l'échauffement de l'instrument, qui est ici bien moindre qu'avec le calorimètre à air, ce qui constitue une circonstance très favorable pour ne pas troubler la thermogenèse chez l'animal en expérience.

On pourrait au besoin inscrire par la photographie les déviations du galvanomètre, comme je le fais pour d'autres expériences; mais ce serait là une complication qu'on préférera éviter dans la pratique en se servant du calorimètre différentiel à air.

Le calorimètre thermo-électrique peut rendre de très grands services pour étudier la production de chaleur sur les tissus isolés de l'organisme soumis ou non à la circulation artificielle. A l'aide de cet instrument, extrêmement sensible, on peut constater et mesurer la production de chaleur chez les êtres inférieurs et les animaux à sang froid, comme les batraciens, les poissons, etc. Le calorimètre thermo-électrique peut recevoir des dimensions microscopiques en conservant toute sa sensibilité. J'en ai fait juste d'assez grands pour contenir un insecte ou une larve.

## RÉUNION DES MARDI 27 ET MERCREDI 28 AVRIL 1886,

à 8 heures très précises du soir.

### EXPOSITION DE PAQUES.

Machine à vapeur de MM. **Weyher** et **Richemond**.

Éclairage électrique par les lampes à incandescence de M. **A. de Lodyguine** actionnées par les machines dynamo-électriques système **A. Chertemps** et **C$^{ie}$**.

Photomètre de M. **Violle**. — Double lunette photométrique à lumière polarisée de M. **Desains**, modifiée par M. **Léon Godard**. — Œil artificiel de M. le D$^r$ **Gariel**. — Nouveau colorimètre pour observer les couleurs par réflexion, employé dans les teintureries et fabriques de couleurs. — Mégascope de projection avec support spécial, employé dans les aciéries pour étudier la structure et la nature des cassures des métaux. — Appareil de M. **Govi**, montrant qu'un rayon de lumière qui traverse un corps à faces parallèles est décomposé s'il est divergent ou convergent, et qu'il est dévié sans décomposition si ce rayon est parallèle. — Prisme à grande dispersion. — Héliographe enregistreur. — Néphoscope de MM. **Finemann-Hildebrandsson**. — Pyromètre de projection. — Illusion d'optique. — Expériences diverses .......... MM. **J. Duboscq** et **Ph. Pellin**.

Appareil pour la démonstration expérimentale du grossissement de la loupe. — Nouveau focomètre (construits par M. **E. Ducretet**) .......... M. **Mergier**.

Appareils photographiques à mises au point automatiques. — Projections d'épreuves obtenues à l'aide de ces appareils. M. **A. Molteni**.

Photographies d'éclairs du 28 juin 1885. — Obtention par la photographie d'épreuves à perspective exacte .......... M. **Cazes**.

Téléphone à limaille de fer — Radiophones .......... M. **Mercadier**.

Saccharimètre à franges et à lumière blanche. — Spectroscope d'absorption de M. **de Thierry** (dispositifs de MM. Th. et A. Duboscq) .......... MM. **Th.** et **A. Duboscq**.

Indicateur et enregistreur à distance des variations de niveau dans les réservoirs de la ville de Paris. — Indicateur et enregistreur à distance de pression (manomètre Bourdon). — Indicateur et enregistreur à distance des températures. — Commutateur automatique pour les lignes télégraphiques et téléphoniques .......... M. **Parenthou**.

Nouvelle pile hydro-électrique .......... M. **Delaurier**.

Allumeurs et extincteurs.................................. M. **Radiguet.**

Pile Jablochkoff dite *auto-accumulateur*.................. M. **Jablochkoff.**

Rallumeur automatique de M. Clerc........................ M. **Mora.**

Pile à liquides immobilisés................................ M. **Guérin.**

Appareil télégraphique.................................... M. **Estienne.**

Voltamètre zinc-plomb à très grande surface, pour régulariser la lumière électrique et prolonger l'éclairage en cas d'accident survenu aux machines........................ M. **Reynier.**

Plaques d'accumulateurs plissées (système Reynier) à compression interne pour foisonnement. — Accumulateur télégraphique zinc-plomb à négatif protégé (système Reynier).................................................. MM. **E. Blanc** et **C**ie

Accumulateur genre Planté (plaques Reynier)............ M. **P. Gadot.**

Accumulateur à plaques feutrées (système Reynier et Simmen). — Conjoncteur et disjoncteur automatique de M. **Hospitalier** pour gouverner la charge des accumulateurs........ M. **A. Simmen.**

Thermomètre à contrôleur électrique. — Cathétomètre. — Appareils classiques........................................ M. **Gerboz.**

Microscope mégalographe de M. **G. Revoil**................ M. **V. Lefebvre.**

Ophtalmoscope dernier modèle de M. **Parent**. — Chromatomètre de MM. **Izarn, Colardeau** et **Chibret**............. M. **Giroux.**

Reproduction des effets lumineux de l'électricité sans l'intervention des appareils photographiques ordinaires......... M. **Boudet de Pâris.**

Régulateur de température. — Anémomètre............... M. **Vlasto.**

Appareil pour la mesure de la compressibilité des gaz à haute pression. — Appareil pour l'étude de la compressibilité des gaz raréfiés.............................................. M. **Amagat.**

Appareils pour la condensation des vapeurs sous l'influence de l'électricité statique........................... M. **Hempel.**

Lampes électriques universelles de sûreté, appareils électriques sous-marins (modèles carrés et ronds adoptés par les pompiers de Paris et la marine de l'Etat). — Appareils d'éclairage électrique pour la physiologie, la minéralogie, la chimie, l'éclairage du microscope, la photomicroscopie, etc. M. **G. Trouvé.**

Photographies solaires : 1° Taches avec les granulations dans les facules et les stries. — 2° Autre tache. — 3° Surface solaire [Eclipse totale du 6 mai 1883 observée à l'île Caroline (Pacifique)]. — 4° Couronne solaire ............ M. **Janssen.**

Vues photographiques se rapportant à l'aérostat de Meudon. M. **Ch. Renard.**

Photographies célestes (**Observatoire de Paris**)........... MM. **P. Henry.**

Appareil élévatoire et à faire le vide....................... M. **de Romilly.**

Baromètre enregistreur à mercure donnant directement le diagramme de la pression barométrique réduite à zéro. — Girouette-anémomètre enregistrant la force et la direction des vents. — Suspension Cardan à ressort pour le placement à bord des baromètres anéroïdes. — Thermomètre avertisseur électrique. — Thermomètre enregistrant à distance ses indications pour études médicales et industrielles. — Pluviomètre à flotteur et à siphon enregistreur. — Indicateur de la vitesse des machines......................... MM. **Richard** frères.

Télémètre de dépression (système **Audouard**)............. M. **Dumoulin-Froment.**

Focomètre Laurent : appareil général pour contrôler les surfaces courbes, au moyen d'images réfléchies. — Appareil nouveau pour contrôler les surfaces courbes, au moyen des anneaux colorés. — Comparateur optique pour exécuter des objectifs centrés. — Lunettes à autocollimateur pour divers usages : 1° réflexion de fils sombres sur fond éclairé; 2° réflexion d'un trou éclairé sur fond sombre. — Eclaireurs à lumière ordinaire et à lumière monochromatique pour divers appareils. — Objectifs pour instruments de précision. M. **L. Laurent.**

Effet du choc des projectiles sur des plaques métalliques minces..................................................... M. le Colonel **Sebert.**

Appareil à ondes de Wheatstone, grand modèle, avec dispositions nouvelles et tableau explicatif................ M. **R. Kœnig.**

Lampes à incandescence. — Filaments de bambou. — Compteur Edison. — Appareils divers, douilles, interrupteurs. — Lampe à arc **Pieper.** — Dynamo Edison de 225 ampères, 110 volts................................................ **Société Edison.**

Galvanomètre Wiedemann, modèle d'Arsonval. — Galvanomètre à circuit mobile de grande sensibilité et à déviations proportionnelles. — Echelle micrométrique pour la lecture des faibles déviations angulaires. — Téléphone à pôles concentriques, modèle montre (appareils construits par la maison **de Branville** et Cie)................................ M. **d'Arsonval.**

Nouvel hygromètre à condensation de M. **Sire.** — Appareils de M. **Marié-Davy** pour graduer et vérifier les hygromètres à cheveu. — Appareil de M. **Villot** pour l'analyse industrielle des gaz. — Instrument enregistreur pour anémomètres, ou compteur de tours. — Anémomètre de M. **Fleuriais** pour être placé au sommet d'un mât de navire.

— Moulinet de M. **Fleuriais**. — Rose à relèvement de M. **Malapert** pour corriger la compensation des compas. M. **Demichel.**

Deux polycordes s'accordant automatiquement, donnant les gammes enharmoniques des musiciens et des physiciens et permettant de comparer leur justesse .................. M. **Paul Robin.**

Nouveaux modèles d'hygromètres à condensation. — Lunette pour l'observation simultanée des franges et du thermomètre de l'instrument. — Longue-vue de campagne à trois tirages en aluminium soudé. — Diverses pièces en nouveau métal Bourbouze. — Electromètre **Branly** modifié par MM. **J.** et **A. Curie**.................................. M. **Bourbouze.**

Modèle de siphon recorder de Sir **W. Thomson.** — Aréomètres électriques. — Piles pneumatiques de M. **Pillet.** — Piles thermo-électriques de M. **Clamond** ...................... M. **Carpentier.**

Appareils d'enseignement électrotechnique................. M. **E. Hospitalier**

Machine à influence de **Wimshurst**, grand modèle. — Machine à influence de Wimshurst, petit modèle. — Dromoscope **Fournier**, dernier modèle. — Echelle transparente en bois. — Galvanomètre différentiel **Thomson**. — Caisse de résistance grand modèle par décade. — Ampèremètre **Lippmann** à mercure. — Électromètre sphérique de **Lippmann**. — Pont à induction de **Bréguet**. — Boussole de Kempe. — Machine Gramme de laboratoire à deux manivelles et à transmission funiculaire. — Tachymètre de **Young** ............................................ .. **Maison Bréguet**

Petit modèle de soufflerie de précision pour des expériences d'acoustique..... ...................................... M. **Cavaillé-Coll.**

Bec à flamme sensible pour la mesure des intensités sonores. — Bec à flamme oscillante ............................ M. **Neyreneuf.**

Modification du compensateur de Babinet qui en double la sensibilité. — Petit appareil à anneaux colorés employé comme thermoscope d'une grande sensibilité (appareil de M. Jamin). — Réseaux de 600 à 800 traits au $\frac{1}{50}$ de millimètre............................................. M. **Nodot.**

Bolomètre de **Langley**, avec galvanomètre à réflexion de Thomson et échelle à projection, nouveaux modèles de **Ducretet**. — Machine de **Wimshurst** à double rotation inverse et amorcement automatique, construite sur les indications et l'autorisation de l'auteur. — Addition d'un dispositif de M. **E. Ducretet** pour la production de l'ozone. — Expériences de cours réalisées avec deux bobines de Ruhmkorff et une bobine à faisceau et inducteur mobiles disposées en transformateurs inverses d'énergie électrique. (Expériences dues à MM. **Bichat** et **Hospitalier**.) — Piles

plates à grande surface et à bichromate de potasse pour les bobines Ruhmkorff.................................... **M. E. Ducretet.**

Optomètre binoculaire. — Ophtalmoscope à réfraction. — Optomètre à main.......................................... **M. Nachet** (jeune).

Appareil de téléphonie domestique. Microphones système **Berthon**. — Téléphone système **Ader**. — Postes d'appel direct pour réseaux. — Installation permettant de brancher plusieurs postes sur un même fil. — Commutateur à leviers pour poste central à communications simples, etc....... **Société générale des Téléphones.**

Grand calorimètre inscripteur pour l'homme. — Calorimètre thermo-électrique. — Électrodes impolarisables solides pour l'étude de l'électricité animale (construits par M. **Verdin**........................................ M. **d'Arsonval.**

Appareils divers de Physiologie........................... M. **Verdin.**

---

## SÉANCE DU 7 MAI 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 2 avril est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. de Branville, Ingénieur constructeur à Paris.
Ledeboer, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.
Giroux (E.), de la maison Roulot, Ingénieur opticien à Paris.

M. le Président fait part à la Société de la perte douloureuse qu'elle vient de faire dans la personne de M. Melsens, membre fondateur et ancien membre du Conseil de la Société. « M. Melsens était membre des Académies des Sciences et de Médecine de Belgique, professeur émérite de l'École de Médecine vétérinaire et examinateur permanent à l'École militaire. C'était un élève de Dumas, à qui il avait voué un véritable culte; c'était aussi un grand ami de la France, et à ce titre nous devons doublement déplorer sa perte. Ses travaux sont nombreux et variés : ils portent sur la Chimie et la Physique et s'appliquent à des sujets qui ont soulevé souvent de vives controverses. Je ne puis les examiner ici et je dois me borner à rappeler ses recherches originales sur les poudres de guerre, ses observations curieuses sur l'entraînement de l'air dans le tir des projectiles, et enfin ses travaux sur l'établissement des paratonnerres, travaux qui étaient sa grande préoccupation dans les dernières années de sa vie. »





M. le Président adresse les remerciements de la Société aux personnes qui ont bien voulu prêter leur concours aux séances de Pâques, en particulier à MM. Weyher et Richemond qui, comme les années précédentes et avec le même désintéressement, ont mis à la disposition de la Société la force motrice nécessaire pour l'éclairage électrique; à M. de Lodyguine qui nous a donné la primeur de ses lampes à incandescence si intéressantes, et à ses associés et collaborateurs MM. Cauderon et Bertin, qui ont bien voulu prendre la charge du brillant éclairage de nos salles d'exposition.

M. Le Chatelier s'est occupé de la mesure des températures élevées par les couples thermo-électriques; ce procédé, proposé dès 1837 par Pouillet et Becquerel, passe pour être peu précis. D'après les expériences de Regnault, les indications d'un même couple ne resteraient pas comparables d'une expérience à l'autre et, d'après M. Becquerel, la loi de variation des forces électromotrices avec la température serait tellement complexe qu'il faudrait pour chaque couple faire une graduation empirique nécessairement longue et délicate.

Cette condamnation paraît trop absolue, étant donné que les expériences de Regnault ont porté sur un seul métal, le fer, que la variabilité extrême de ses propriétés rend tout à fait impropre pour un semblable emploi. D'autre part, les expériences de M. Becquerel satisfont dans une grande partie de l'échelle thermométrique à la loi simple qu'Avenarius et Tait ont établie pour un très grand nombre de couples entre les températures 0° et 400°

$$E = at + bt^2 \text{ (1)}.$$

Cette formule renferme seulement deux constantes $a$ et $b$ qui peuvent être déterminées au moyen de deux points fixes, comme on le fait pour la graduation habituelle des thermomètres.

Il était donc permis d'espérer obtenir, par un choix convenable des métaux, un couple *comparable* à lui-même, et d'une *graduation* simple.

Pt *pur et fondu* - Fe *fondu ou forgé*. — Ce couple n'est pas comparable à lui-même; tous les fils de fer chauffés en un quelconque de leurs points donnent naissance à des courants d'intensité et de direction variables. Les indications dépendent donc de la loi de répartition des températures le long du fil de fer. Les indications varient encore avec le degré d'écrouissage du métal.

Pt *pur et fondu* - Pd *fondu ou forgé*. — Même résultat qu'avec le fer; un fil de palladium fondu relativement homogène, chauffé en un certain de ses points à 700°, donne une force électromotrice de $\frac{2}{1000}$ de volt, équivalente à celle qu'aurait donnée une différence de température de 250° entre les deux soudures des couples considérés.

---

(1) L'une des soudures est supposée maintenue dans la glace fondante.

Pour ce couple, la loi d'Avenarius s'applique jusqu'à 1500° dans la limite de précision que comportent les expériences.

Pt *pur fondu* - Pt *iridié fondu à* 10 *et* 20 *pour* 100 *d'iridium*. — Le métal, parfaitement homogène, ne donne aucun courant quand on chauffe le couple en dehors de la soudure. Mais les forces électromotrices varient d'une façon considérable (20 pour 100 d'écart parfois) avec le degré d'écrouissage du métal, et il est impossible par le recuit de ramener le métal à un état toujours identique à lui-même. Le couple n'est pas comparable à lui-même aux basses températures. Il paraît plus comparable aux températures élevées et sa force électromotrice est donnée entre 1000° et 1775° par la formule simple

$$E = at.$$

Cet alliage a seulement l'inconvénient de devenir rapidement cassant quand il a été plusieurs fois chauffé.

Pt *pur fondu* - Pt *rhodié fondu*. — L'alliage de rhodium s'est montré très homogène, et très peu sensible à l'écrouissage. Il donne des couples qui restent comparables entre eux et conviennent très bien pour la mesure des températures. Mais on ne peut pas représenter par une simple formule parabolique la variation de la force électromotrice entre 0° et 1775°. On peut cependant, dans une première approximation, employer une semblable formule entre 0° et 1200°. L'erreur commise ne dépasse pas 20°.

Deux points fixes très convenables pour la graduation des couples sont

| | |
|---|---|
| Ébullition de $AzH^4Cl$ | 340° |
| Fusion de $KOSO^3$ | 1015° |

Les points suivants de fusion, d'ébullition et de dissociation ont été déterminés par ce procédé.

| | |
|---|---|
| Al | 625 |
| $AzH^4Br$ | 390 |
| $CaOHO$ | 540 |
| $CaOCO^2$ | 925 |

M. LÉON LAURENT décrit la méthode pratique qu'il emploie pour l'exécution des petits prismes de Nicol et de Foucault; il indique les conditions que doit remplir un bon nicol et présente un outillage mécanique spécial qui dispense de l'emploi du goniomètre. Il se compose de douze pièces identiques en laiton, creusées en forme de V et fixées sur un plateau rond en laiton, portant un miroir parallèle à ses faces. Un demi-nicol type sert à contrôler les pièces : M. Laurent indiquera plus tard comment il l'obtient; c'est un cas particulier d'une méthode pour l'exécution des prismes de précision. Le type étant collé dans une pièce, il vérifie, au moyen de ses lunettes autocollimatrices, si les bases sont parallèles aux surfaces polies correspondantes du type.

Au lieu de prendre pour *guides* les bouts des nicols, M. Laurent prend les faces latérales qu'il commence par dépolir bien parallèles aux clivages;

on scie les spaths et on fixe les demi-morceaux dans les pièces V. On polit alors d'un coup douze surfaces parallèles au miroir du plateau, puis les douze autres. On peut alors prendre indistinctement deux demi-nicols et les coller à demeure. Les nicols rayés pourront être repolis plus tard, sur ces mêmes outils, car les guides sont conservés.

M. Laurent indique un moyen d'améliorer beaucoup un nicol quelconque, en collant une ou deux glaces choisies sur ses bouts; on corrige l'excentricité, l'image est plus nette et on protège les surfaces.

Les clivages du spath ne donnent pas toujours une image bien visible. M. Laurent a combiné un deuxième type de lunette dans lequel on examine l'image réfléchie d'un trou rond éclairé sur fond sombre; ce dispositif rend l'observation plus facile, surtout dans le cas des images imparfaites. Elle sert aussi à divers usages.

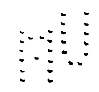
M. Laurent attire l'attention de la Société sur des effets produits par la matière non tout à fait homogène. Il montre un cube de verre de $0^{m},04$ d'épaisseur, dont deux surfaces sont planes et parallèles; elles ne devraient donner qu'une seule image (avec les lunettes), or elles en donnent bien une seule au centre, mais il y a dédoublement partout ailleurs; cependant la matière paraît très belle.

M. Laurent donne une explication du phénomène au moyen de figures sur le tableau et en prenant pour exemple le verre trempé. Il part de ce fait que, la densité de ce verre allant en augmentant de l'extérieur au centre, un rayon lumineux doit se courber dans l'intérieur du verre, comme dans les effets de mirage. Le faisceau réfléchi sur la deuxième surface sort du verre comme s'il émanait d'un point non situé à l'infini. M. Laurent montre qu'en dehors du centre les deux images ne doivent pas se superposer et qu'il doit y avoir une différence de foyer notable. Il en conclut que l'homogénéité de la matière n'est pas toujours à la hauteur de la précision de ses procédés de contrôle. On peut répondre du travail, mais on ne peut juger tout à fait de la qualité de la matière que lorsque le travail est complètement terminé; c'est très malheureux, mais du moins on est fixé et on ne retravaille pas des surfaces au hasard.

---

## *De la mesure des températures élevées par les couples thermo-électriques;* par M. H. Le Chatelier.

La mesure par le thermomètre à air des températures supérieures à 500° présente de telles difficultés que, parmi les déterminations nombreuses faites jusqu'ici, il n'en est peut-être pas une douzaine pour lesquelles on puisse compter sur une approximation de plus de 100°. Aussi, faut-il, dans les recherches de Chimie,



pour lesquelles la connaissance exacte des températures présenterait cependant une grande importance, se contenter dans la plupart des cas de déterminations faites de sentiment.

L'emploi des couples thermo-électriques pour la mesure des températures élevées a été proposé, dès 1836, par Becquerel et Pouillet. Ce procédé, d'un usage très commode par suite du petit volume de l'appareil thermométrique, passe pour être peu exact et n'a jamais été employé que d'une façon accidentelle par quelques observateurs isolés.

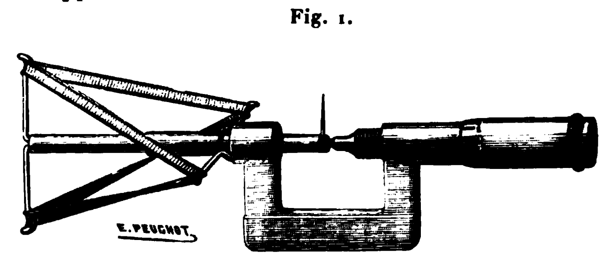
Je me propose de montrer ici que la condamnation de cette méthode ne saurait en aucune façon être justifiée, et que les mauvais résultats obtenus jusqu'ici tiennent surtout au choix défectueux des couples employés. Par un hasard fâcheux tous les savants qui ont étudié cette question se sont servis du fer ou du palladium qui sont peut-être de tous les métaux ceux qui conviennent le moins pour un semblable usage.

*Appareil galvanométrique.* — J'ai employé pour cette étude un galvanomètre apériodique de MM. Deprez et d'Arsonval qui avait une résistance intérieure de $250^{ohms}$ et donnait sur l'échelle un déplacement de $100^{mm}$ pour $\frac{1}{100}$ de volt. La résistance des couples ne dépassait guère $2^{ohms}$; la variation irrégulière de leur résistance, par suite de l'échauffement, ne pouvait donc entraîner des erreurs supérieures à quelques millièmes. Cet appareil donne des indications assez rapides pour permettre de faire des mesures dès que la température reste stationnaire pendant cinq secondes. Il ne permet pas d'obtenir une proportionnalité rigoureuse entre les lectures de l'échelle et l'intensité des courants; mais, dans l'appareil que j'avais entre les mains, cette proportionnalité se vérifiait à 1 pour 100 près entre les divisions 10 et 150 de l'échelle. Cela résulte des chiffres suivants obtenus en faisant varier la résistance du circuit sans changer la force électromotrice.

| Résistance totale. | Division de l'échelle. | Produit. |
|---|---|---|
| ohms | mm | |
| 174 | 154,0 | 26800 |
| 252 | 106,7 | 26900 |
| 485 | 55,9 | 27100 |
| 2968 | 9,10 | 26800 |

Pour mesurer les petites déviations, j'ai remplacé avec grand avantage l'échelle transparente de M. Carpentier, qui ne permet guère de faire les lectures à plus de $0^{mm},25$, par une pointe mobile portée sur un palmer (*fig.* 1), disposition qui décuple la précision des lectures. Un ressort en caoutchouc maintient pressée contre l'extrémité de la vis la pièce mobile qui porte la pointe. La règle et le palmer peuvent en un instant se substituer l'un à l'autre sur le même support.

Fig. 1.




Enfin je me suis servi, dans certains cas, pour l'enregistrement des points fixes d'ébullition, de fusion, de la méthode photographique. Une fente éclairée par la lumière Drummond projetait son image sur une plaque sensible et laissait une impression d'autant plus intense que la température était restée plus longtemps stationnaire.

*Points fixes de graduation.* — La détermination des températures auxquelles sont portés les couples étudiés doit évidemment être faite au moyen du thermomètre à air ; mais celui-ci peut être employé soit directement en le plaçant à côté des couples, soit indirectement en se servant des points de fusion ou d'ébullition antérieurement déterminés. C'est la seconde méthode que j'ai préférée ; elle est de beaucoup la plus rapide et en même temps la plus exacte, puisqu'elle permet d'utiliser les mesures de températures effectuées par les observateurs les plus habiles. Voici les points fixes qui m'ont servi ; ils sont, pour les températures élevées, empruntés exclusivement aux déterminations de M. Violle :

| Température. | Fusion. | Ébullition. |
|---|---|---|
| 100° | » | HO |
| 325 | Pb | » |
| 358 | » | Hg |
| 415 | Zn | » |
| 448 | » | S |
| 665 | » | Se |
| 945 | Ag | » |
| 1045 | Au | » |
| 1054 | Cu | » |
| 1500 | Pd | » |
| 1775 | Pt | » |

Ces divers points ne sont pas tous d'un usage aussi commode. Le point de fusion du zinc paraît présenter une anomalie semblable à celle que présente le soufre. En échauffant rapidement ce métal de façon à dépasser son point de fusion, et le laissant refroidir ensuite, on observe un intervalle de 15° entre le point de fusion et celui de solidification; mais, si une fois solide on le réchauffe immédiatement, la même anomalie ne se produit plus. Le point de fusion de l'argent m'a paru également un peu variable; cette anomalie pourrait résulter de la proportion plus ou moins grande d'oxyde d'argent que le métal fondu tient en dissolution et qui est la cause du rochage.

Enfin les trois métaux Zn, Ag et Cu ont le grave inconvénient d'émettre, dès leur point de fusion, une quantité suffisante de vapeur pour altérer rapidement le platine des couples. Le soufre, et surtout le sélénium, altèrent si rapidement le palladium que ce métal ne peut pas être plongé dans la vapeur de ces corps. Il n'en est pas de même pour le platine et les alliages de ce métal dont l'altération est insensible dans les mêmes conditions.

Pour faire l'observation des points de fusion, le couple, entouré d'une mince feuille du métal expérimenté, était placé au milieu d'un creuset chauffé dans un four Forquignon et l'on saisissait au passage le point d'arrêt du fil mobile pendant la fusion. Dans le cas où le métal était le platine, c'est-à-dire un des éléments du couple, on reconnaissait la fusion à la rupture du circuit.

*Étude des irrégularités des couples.* — Le reproche le plus grave fait à l'emploi des couples thermo-électriques est leur irré-

gularité; placés dans des conditions identiques de température, ils ne donneraient pas les mêmes indications.

J'ai pensé que pour une étude convenable des causes de ces irrégularités on pourrait soit en calculer l'influence, soit même arriver à les annuler. Le dernier résultat me semble pouvoir être obtenu, en grande partie du moins, par un choix convenable des métaux constituant les couples.

*Défaut d'homogénéité des métaux.* — Un fil préparé avec un métal dépourvu d'homogénéité, formé en quelque sorte par la juxtaposition de tronçons de nature différente, ne peut évidemment pas donner de couples restant comparables à eux-mêmes, puisque alors la force électromotrice dépend de la répartition éminemment variable de la température le long de ce fil. L'homogénéité est donc la première et la plus importante des conditions à réaliser, et pourtant dans les expériences faites jusqu'ici on ne s'est jamais préoccupé de ce côté de la question.

J'ai étudié l'homogénéité des fils en les chauffant, après recuit, sur une longueur de $15^{mm}$, à une température voisine de $700^{\circ}$. La source de chaleur était déplacée progressivement sous le fil tendu horizontalement et l'on notait les déviations produites ainsi sur le galvanomètre. Le *palladium*, le premier métal que j'aie ainsi étudié, m'a donné des déviations importantes variant de sens d'un point à l'autre du fil. Pensant que le défaut d'homogénéité du métal ainsi accusé tenait à son mode de préparation (forgeage de mousse métallique), j'ai essayé des fils préparés avec du métal fondu, mais les résultats n'ont pas été meilleurs; je donne ici le détail d'une expérience faite avec un semblable fil chauffé à des points équidistants de $5^{cm}$ :

| Longueur du fil. | Déviations. |
|---|---|
| m | mm |
| 0,05 | — 2,0 |
| 0,10 | + 2,5 |
| 0,15 | — 1,5 |
| 0,20 | —10,0 |
| 0,30 | — 5,0 |
| 0,35 | — 2,0 |
| 0,40 | — 0,5 |
| 0,45 | 0,0 |

| Longueur du fil. | Déviations. |
|---|---|
| m | mm |
| 0,50 | — 1,0 |
| 0,55 | + 3,0 |
| 0,60 | 0,0 |
| 0,65 | — 2,0 |
| 0,70 | 0,0 |

On se rendra compte de l'importance des forces électromotrices dues à ce manque d'homogénéité en les rapprochant de celles qui sont développées par le couple platine-palladium : ce dernier donne en effet une déviation de $5^{mm}$ pour une élévation de température de $100^{o}$ de la soudure chaude.

Les essais sur le fer n'ont pas été plus satisfaisants; tous les échantillons des fils de fer essayés (fer puddlé, Bessemer basique ou acide extra-doux) ont manifesté des anomalies semblables à celles du palladium. Aucun de ces deux métaux, *fer* et *palladium*, ne saurait donc convenir pour la confection des couples thermo-électriques destinés à la mesure des températures.

J'ai étudié ensuite des fils de *platine pur* ou allié au *rhodium*, à l'*iridium* et au *cuivre* préparés avec du métal *fondu*. Ils se sont montrés tous d'une homogénéité remarquable; les plus fortes déviations n'ont pas atteint $1^{mm}$. A ce point de vue spécial ces métaux et alliages conviennent également bien pour la confection des couples.

L'*écrouissage* des métaux altère plus ou moins les propriétés thermo-électriques. J'ai reconnu que cet effet était sensiblement nul pour le *palladium* et le *platine pur ;* très faible pour l'alliage de *platine rhodié* qui présente seulement des écarts de 1 à 2 pour 100 entre les déviations obtenues avec le métal sortant de la filière ou recuit au blanc. Pour le *fer*, au contraire, et les alliages de *platine iridié*, l'effet de l'écrouissage est énorme. Avec un alliage de platine iridié à 20 pour 100, j'ai obtenu les résultats suivants :

| | HO bouillante. | Fusion du zinc. |
|---|---|---|
| | mm | mm |
| Métal sortant de la filière................ | 11,00 | » |
| Métal recuit au rouge sombre............ | 12,00 | » |
| Métal recuit au blanc.................... | 13,00 | » |
| Métal écroui par des torsions successives.. | 11,65 | 72 |
| Métal recuit au blanc.................... | 12,40 | 78 |

Ce Tableau montre, de plus, qu'on ne peut pas ramener par le recuit à un état toujours identique à lui-même un métal susceptible de s'écrouir.

*Trempe.* — Je rappelle pour mémoire que le fer, même légèrement carburé, comme le sont les fers les plus purs, éprouve encore par la trempe une modification profonde de ses propriétés thermo-électriques. Je n'ai rien observé de semblable avec les autres métaux que j'ai étudiés.

Le *mode de jonction des fils* semblait, d'après les expériences de Regnault, jouer un rôle dans les propriétés des couples. J'ai reconnu qu'il n'en était rien pour le platine et les métaux analogues. Un couple platine rhodié, par exemple, réuni par torsion, forgeage à chaud, soudure autogène, soudure au palladium ou à l'or, placé dans les mêmes conditions, donne les mêmes indications. Les résultats obtenus par Regnault tiennent à ce que l'un des métaux de son couple était le fer qui ne peut subir l'élévation de température que nécessite le forgeage ou le soudage sans que ses propriétés en soient altérées.

La *nature des gaz* dans lesquels le couple est placé ne m'a pas paru avoir d'influence sur ses indications. Il semble pourtant difficile que l'hydrogène, si facilement condensé par le platine, n'en modifie pas un peu les propriétés; mais cette influence est sans doute trop faible pour se dégager au milieu des incertitudes des expériences qui s'élèvent environ à 1 pour 100 de la valeur des déviations observées.

L'ensemble de ces expériences m'a donc amené à conclure qu'il était possible de construire un couple restant comparable à lui-même en employant comme métaux le *platine pur* fondu et le *platine rhodié* à 10 pour 100 également fondu, et que cet alliage était le seul remplissant les conditions voulues parmi ceux que j'avais étudiés.

*Loi de variation de la force électromotrice avec la température.* — Avenarius et Tait ont montré que, pour la plupart des couples étudiés par eux, cette loi peut, entre 0° et 400°, être mise sous la forme

$$E = A(\tau - \tau_0) + B(\tau^2 - \tau_0^2),$$

$\tau$ et $\tau_0$ températures absolues des deux soudures qui devient, lorsque la soudure froide est maintenue dans la glace fondante,

$$E = at + bt^2.$$

Les expériences de M. Edm. Becquerel sur le couple Pt - Pd, qui ont été poussées jusqu'à 1400°, sont assez exactement représentées par une formule analogue, sauf entre 300° et 500° où elles présentent une perturbation singulière.

Il était donc intéressant de reprendre l'étude de cette loi; son exactitude permettrait en effet de graduer un couple en employant seulement deux points fixes, comme on le fait pour le thermomètre à mercure entre 0° et 200°. Mes expériences montrent que, entre 0° et 1500°, la formule d'Avenarius et Tait s'applique pour le couple Pt - Pd avec le degré d'approximation que comporte l'emploi d'un métal aussi hétérogène que le palladium. Je donnerai ici les chiffres relatifs au couple platine pur fondu-palladium forgé. La formule moyenne est

$$E = 4,3t + \frac{7,3}{1000}t.$$

| | Points fixes. | Déviations observées. | Températures calculées. |
|---|---|---|---|
| | ° | mm mm | ° ° |
| HO........... | 100 | 4,8- 5,9 | 95-115 |
| Zn........... | 415 | 29,0- 30 | 400-410 |
| Ag........... | 954 | 108,0-109,7 | 955-965 |
| Au........... | 1045 | 122,6 | 1035 |
| Pd........... | 1500 | 240,3 | 1550 |

Mais une formule aussi simple ne paraît pas convenir pour les autres couples que j'ai étudiés. Il faut compléter la formule parabolique par un troisième terme en $t^3$ ou diviser la courbe en deux parties, dont chacune serait représentée par une formule distincte. On arrive ainsi à représenter les résultats de l'expérience à 20° près, précision largement suffisante lorsque l'on a affaire à des couples aussi irréguliers que ceux formés par le platine iridié, le fer, etc.

Pour le couple *platine-platine rhodié,* le plus régulier de ceux que j'ai étudiés, il faudrait employer une formule plus complexe encore pour représenter les résultats de l'expérience à 10° près, c'est-à-dire avec une précision inférieure même à celles que comportent les expériences. Mais, si l'on trace la courbe relative à ce

couple, on s'aperçoit que, entre 500° et 1000°, elle présente un point d'inflexion dont la tangente se confond avec la courbe sur une grande étendue. On peut, entre 300° et 1200°, intervalle de température où les mesures sont les plus intéressantes, identifier la courbe avec une droite dont l''équation serait

$$E = -0,15 + 0,115\,t.$$

Je donne, dans le Tableau ci-dessous, les résultats des expériences qui ont servi à tracer la courbe et en même temps les déterminations de quelques nouvelles températures de fusion ou de volatilisation destinées à servir ultérieurement de points fixes de graduation.

| | Points fixes. | Déviations observées. | Températures calculées. |
|---|---|---|---|
| | ° | mm | ° |
| HO | 100 | 5,5 | » |
| $AzH^4Cl$ | » | 25,6 | 340 |
| Hg | 358 | 27,7 | » |
| S | 448 | 36,3 | » |
| Al | » | 57,3 | 625 |
| Se | 665 | 61,8 | » |
| $KO,SO^3$ | » | 102,5 | 1015 |
| Au | 1045 | 105,6 | » |
| Pd | 1500 | 161,0 | » |
| Pt | 1775 | 182,0 | » |

En résumé, le couple *platine pur fondu, platine rhodié fondu,* à 10 pour 100, permet d'obtenir la mesure des températures inférieures à 1200° avec une approximation d'environ 10°, c'est-à-dire supérieure à celle que peut donner le thermomètre à air lorsqu'il est employé d'une façon courante, comme il peut l'être dans des recherches de Chimie où la mesure des températures n'est souvent qu'un côté accessoire des études poursuivies.

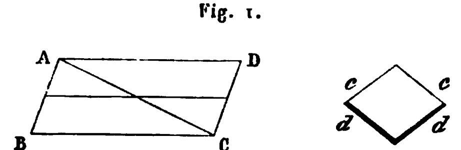
Pour obtenir cette précision, il est utile de faire la graduation du couple dans le cours même des expériences pour éviter l'influence des variations de température sur la résistance du cadre du galvanomètre, et il est indispensable d'éloigner du couple, pour le préserver de toute altération, les métaux volatils : plomb, zinc, argent, cuivre et aussi, lorsque l'atmosphère est réductrice, les matières siliceuses, la terre réfractaire des creusets.

## *Méthode pratique pour l'exécution des prismes de Nicol et de Foucault;*

par M. Léon Laurent.

On sait que le prisme de Nicol est formé d'un cristal de spath d'Islande ABCD (*fig.* 1). On le scie en deux suivant AC, les parties sciées sont polies et collées au baume de Canada. Un rayon lumineux, qui traverse un nicol bien exécuté, ne doit pas en sortir dévié.

Fig. 1.




Pour arriver à ce but, il faut remplir les conditions suivantes : les faces terminales AB, CD, doivent être *parallèles* aux clivages; les surfaces intérieures AC doivent faire des angles *égaux* avec les premières et être *également* inclinées sur les faces latérales; enfin les surfaces polies doivent être *planes*.

Dans les ateliers, on prend pour *guides* les faces *terminales* AB, CD; on les travaille en se réglant sur les clivages, par à peu près. L'angle de ces faces avec les faces intérieures AC, se prend au goniomètre d'application, pour *chaque* pièce et l'inclinaison sur les faces latérales se fait à l'œil; il y a nécessairement des différences plus ou moins grandes entre les demi-nicols et il faut, avant de les coller à demeure, les coller provisoirement pour rechercher par tâtonnements ceux qui se compensent le mieux.

Depuis plusieurs années, le spath d'Islande est devenu très rare; aujourd'hui le beau spath ne se trouve même plus en gros morceaux, et il faut prendre les nicols, dans de petits cristaux, ce qui ajoute encore aux difficultés.

J'ai combiné un *outillage* mécanique spécial, afin de faciliter l'exécution difficile des petits nicols. Il se compose de douze pièces V identiques, en laiton; l'une d'elles est représentée (*fig.* 2) vue de face et de côté; elles sont fixées avec des vis sur un plateau rond P (*fig.* 3). Celui-ci porte à sa partie supérieure un



miroir M parallèle à la face T sur laquelle sont fixées les pièces V. Les surfaces à polir AB des spaths sont mises parallèles à M.

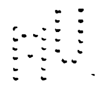
Un demi-nicol *type* ABC (*fig.* 2) sert à contrôler les pièces V; ses surfaces sont aussi planes que le permet cette substance et elles font avec l'*axe* du spath les angles voulus; j'indiquerai plus tard comment je l'obtiens, c'est un cas particulier d'une méthode pour l'exécution des prismes de précision.

Fig. 2.

Le type étant collé avec soin dans la creusure d'une pièce V, le talon T devra être parallèle à la face AC; si l'on rabat la pièce sur l'autre talon T', celui-ci devra être parallèle à la face AB. Pour le vérifier, on place la pièce et le type sous une lunette autocollimatrice L, dont j'ai parlé dans ma dernière Communication sur les objectifs et qui est entrée dans le travail journalier de l'opticien. Le *déplacement* de l'image réfléchie indique le sens et la grandeur de l'erreur et l'on retouche aux talons T et T' pour leur donner la direction voulue. Ces pièces ne s'altèrent pas pendant le travail, car l'émeri ne les touche pas.

Les pièces V étant ainsi vérifiées, on fixe sur chacune d'elles un demi-spath préparé de la manière suivante :

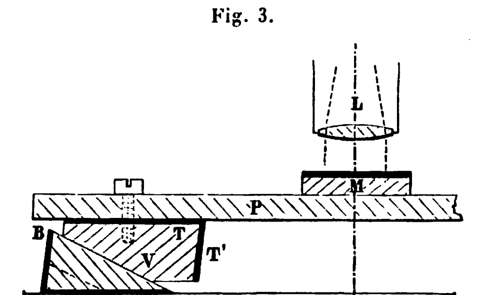
*Préparation des spaths.* — La matière est clivée en petits morceaux de la grandeur nécessaire pour faire un nicol de $10^{mm}$, par exemple, modèle très employé. A chacun d'eux on dépolit deux faces latérales contiguës *d*, *d* (*fig.* 1) en les rendant parallèles aux clivages opposés *c*, *c*. Puis on colle une douzaine de ces pièces sur un plateau, afin de dépolir les deux autres faces parallèles aux premières; après deux manipulations, les spaths se trouvent avoir



quatre faces latérales *dépolies* et bien *parallèles* aux clivages ; je les prends pour *guides*.

On scie ensuite les spaths à la manière ordinaire et on les colle sur les pièces V ; celles-ci sont vissées sur le plateau P que l'on retourne pour le travail (*fig.* 3) ; on polit alors d'*un coup* douze faces *intérieures* AC parallèles au miroir M. Ensuite on revisse les pièces sur leurs talons T′ et l'on fait de même d'un coup toutes les

Fig. 3.




faces terminales AB. Les demi-nicols étant détachés de leurs pièces V, on peut en prendre indistinctement deux et les coller à demeure.

Cet outillage permet donc de faire des nicols sans se servir du goniomètre et, tout en observant bien les angles, le travail de l'opticien est constamment ramené à exécuter des surfaces *parallèles* à un plan donné, cas rendu relativement facile par l'emploi de mes lunettes autocollimatrices. Un ouvrier soigneux n'ayant pas exécuté spécialement de nicols peut arriver ainsi à en faire de bons et très peu excentrés.

Les nicols exécutés par ces procédés pourront plus tard, à la suite d'usure, être *repolis* dans ces mêmes outils, car les faces mates servant de *guides* sont conservées, c'est un avantage très important : cela ne peut se faire avec les anciens nicols dont les faces mates ne sont qu'*à peu près* parallèles aux clivages, et jusqu'ici, quand on retouchait le poli d'un nicol, on rendait celui-ci *moins bon* qu'auparavant.

Les pièces V servent aussi à faire les bouts des prismes de Foucault ; il faut une autre série de pièces pour faire les intérieurs, l'angle étant différent de celui du nicol.

*Surfaces.* — Le spath est une matière tendre; il se polit facilement, mais on ne peut pas obtenir de surfaces planes, comme avec le verre ou le quartz; on fait tous ses efforts pour éviter de trop *rabattre* les bords; les surfaces sont plutôt convexes, mais non sphériques.

Le nicol comporte deux défauts principaux, très sensibles, quand on veut l'employer avec un certain grossissement, dans une lunette par exemple.

1° L'image n'est pas très souvent *nette;* cela tient aux surfaces qui ne sont pas planes et, de plus, sont traversées assez obliquement par la lumière;

2° Elle est presque toujours *excentrée*, parce que les faces ne font pas avec l'*axe* du spath les angles voulus.

J'indiquerai le moyen suivant qui permet d'améliorer beaucoup un nicol quelconque. On le vérifie d'abord au moyen de l'appareil à contrôler les systèmes optiques par *réfraction* (1), et l'on constate le sens et la grandeur de l'excentricité de l'image; on choisit ensuite deux glaces donnant une déviation analogue et on les colle au baume de Canada, dans le sens convenable sur les bouts du nicol, on corrige ainsi les deux défauts à la fois; la *non-planéité* des surfaces et l'*excentricité;* de plus, on *protège* les bouts qui se rayent si facilement. Un mauvais nicol, donnant une image *floue* peut donner une image nette par l'adjonction des glaces. Dans certains cas d'expérience délicate, l'adjonction de ces glaces peut être une objection à cause de la trempe et du collage; on pourra se contenter alors d'une seule glace sur le bout extérieur: on améliorera ainsi une surface sur deux et l'on pourra néanmoins corriger l'excentricité.

On peut aussi examiner les nicols par réflexion en employant une lunette autocollimatrice, on place alors le nicol perpendiculairement à un plan de verre (argenté pour avoir plus de lumière). Les défauts sont alors *doublés,* ce qui les rend plus apparents et permet de pousser très loin la vérification; dans ce cas, je crois qu'on pourrait chercher longtemps avant d'en trouver de parfaits.

---

(1) Voir *Séances de la Société de Physique,* p. 77, année 1883.

A égalité de travail, le foucault est inférieur au nicol, quant à la netteté des images; car, bien que les surfaces intérieures des nicols soient traversées plus obliquement par la lumière que celles du foucault, les défauts des surfaces sont très largement compensés, dans le nicol, par le collage au baume.

*Lunettes autocollimatrices.* — Dans mes appareils à contrôler les surfaces *planes,* j'emploie des lunettes dans lesquelles les fils du diaphragme sont éclairés par une glace transparente placée à 45°; on examine l'image réfléchie de fils sombres sur un *fond éclairé;* dans ce cas, l'*axe optique* de la lunette est *perpendiculaire* au plan réflecteur; cette condition est indispensable dans certains cas. C'est le premier type.

Les clivages du spath ne donnent pas toujours une image nette ni bien visible, et souvent l'on ne distingue pas l'image des fils *réfléchis.* J'ai combiné un deuxième type de lunette dans lequel on examine l'image réfléchie d'un petit *trou* rond *éclairé* sur *fond sombre.* Ce trou est percé sur le pourtour du diaphragme à fils, il est éclairé par un petit prisme à réflexion totale. Ce dispositif permet de voir mieux, surtout dans le cas de surfaces imparfaites. Dans ce cas, l'axe optique n'est plus tout à fait perpendiculaire au plan réflecteur, ce qui est indifférent dans bien des cas.

Ce deuxième type s'emploie aussi pour d'autres usages; il permet d'employer la lumière diffuse du jour, on aperçoit mieux de très petites différences de parallélisme; on apprécie la grandeur de l'erreur par comparaison avec le diamètre du trou, dont on a déterminé la valeur angulaire; il permet un grossissement plus fort.

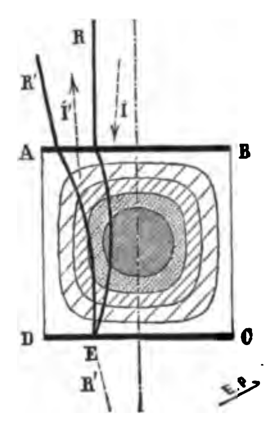
*Éclaireurs.* — Ils sont à lumière ordinaire et à lumière monochromatique, ils glissent le long d'une tige sur pied, afin de se mettre à des hauteurs très différentes, et peuvent descendre près de la table; ils portent chacun une lentille éclairante qui projette à $0^{m},25$ de la flamme une image de celle-ci. C'est cette image qu'on dirige sur l'objet à éclairer : on a ainsi le maximum de lumière et l'on n'est pas gêné par la flamme qui est, en outre, cachée par des écrans.

## *Effets produits par la non-homogénéité du verre. Verre trempé;*

par M. Léon Laurent.

Soit un cube de verre ABCD (*fig.* 1) de $0^m,04$ de côté. Les deux surfaces AB et CD sont faites *planes* et *parallèles*. En plaçant ce cube sous une lunette autocollimatrice (à petit trou éclairé), les deux images données par la réflexion sur les deux faces coïncident et l'on ne voit qu'une image; mais cela n'arrive pas toujours.

Fig. 1.




J'ai fait travailler deux cubes de matière différente : l'un était très peu trempé, l'autre davantage, mais la matière paraissait d'ailleurs très pure. En les promenant sous la lunette, il n'y avait qu'un espace restreint, vers le milieu, où l'on ne voyait qu'une image; partout ailleurs, on en voyait deux assez écartées et, de plus, l'image provenant de la face inférieure CD n'était pas nette; pour la voir nettement, il fallait sortir l'oculaire de plusieurs millimètres.

J'ai montré cet effet à plusieurs membres de la Société, et leur première impression était que cela devait tenir aux surfaces; elles devaient être concaves ou convexes; or il n'en est rien, les surfaces sont *contrôlées :* le dédoublement tient donc nécessairement

à la matière qui n'est pas suffisamment homogène. L'explication n'en est pas facile ; je propose la suivante :

Je supposerai un cube de verre *trempé;* on sait que le verre trempé a une densité un peu plus faible, elle n'est pas uniforme et va en croissant de l'extérieur au centre. Je suppose donc le cube ABCD composé de différentes couches de plus en plus denses et arrondies dans les angles ; elles sont indiquées par des hachures.

Le rayon R se réfléchit d'abord sur la face AB et donne une première image nette et centrée, puis il traverse le cube et rencontre *obliquement* des couches de plus en plus denses ; il se produira alors un effet analogue à celui du mirage, le rayon se courbera jusque vers le centre ; à partir de là, il se courbera en sens inverse et se présentera sur la face CD ; dans une direction *oblique* IE, il se réfléchira dans la direction symétrique EI' ; mais, à partir de E, le rayon se courbera de nouveau et, finalement, il sortira de AB *obliquement* et comme s'il émanait d'un point *éloigné* (mais non plus situé à l'infini).

Si le centre du cube est dans l'axe de la lunette, la deuxième image, réfléchie par CD, se fera sur l'axe de la lunette : elle n'aura pas tout à fait le même foyer que la première image, provenant de la face AB ; mais il y aura *superposition* et il semblera qu'on n'a qu'une image.

Si l'on déplace le cube, la lunette visera en dehors du centre : en combinant deux rayons, l'un passant près du centre et l'autre loin, on verrait qu'ils semblent émaner d'un point moins éloigné et situé *en dehors* de l'axe ; son image sera donc séparée de la première et la différence de foyer plus accentuée.

C'est un cas analogue à celui que j'ai constaté dans le travail des objectifs (*voir* p. 76) ; la matière, qui paraît bonne au début, peut ne pas toujours répondre à la précision du travail exécuté au moyen de ces méthodes, et cela doit arriver plus souvent qu'on ne le pense généralement.

J'ai supposé du verre *trempé*, pour faciliter l'explication ; mais il est évident que la non-homogénéité de la matière, provenant d'une cause quelconque, doit produire des effets analogues.

---

## SÉANCE DU 21 MAI 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 7 mai est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Desselligny (l'abbé), à l'archevêché de Rouen.
Desselligny, au 28e Régiment d'Infanterie, à Rouen.
Préaubert (E.), Professeur au Lycée d'Angers.
Rousselot (l'abbé), à Paris.

M. le Secrétaire général présente, de la part de M. Weyher, des brochures ayant pour titres : *Le Mécanisme des trompes; le Mécanisme de l'Univers*. — De la part de M. Buguet, les cinq premiers numéros du *Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires*, et enfin une Note de M. Delaurier *Sur un procédé pour observer et photographier le Soleil et les éclipses sans télescope et sans objectif*.

M. Hugoniot fait la Communication suivante sur la vitesse limite d'écoulement des gaz.

M. Hirn a exécuté récemment [1] une importante série d'expériences en vue de rechercher s'il existe une vitesse limite d'écoulement des gaz comme l'indique la formule bien connue de Weisbach ou de Zeuner. De l'air à la pression et à la température ordinaires, renfermé dans un gazomètre, s'écoulait par un orifice dans un réservoir où l'on avait fait le vide aussi complètement que possible au moyen d'une trompe à eau. On notait à des instants séparés par des intervalles égaux l'abaissement du gazomètre et la pression dans le réservoir, ce qui permettait d'évaluer le débit en fonction de la pression dans le réservoir. C'est au moyen de ces données que M. Hirn calculait les vitesses d'écoulement. D'après ses conclusions, cette vitesse aurait dépassé dans certains cas $4000^m$ et même $5000^m$; elle augmenterait du reste au delà de toute limite, si la pression dans le réservoir pouvait décroître indéfiniment.

Les expériences, conduites avec un soin extrême, sont de nature à inspirer toute confiance; mais la méthode employée par leur auteur pour le calcul des vitesses d'écoulement soulève de très graves objections.

Soient W le débit, c'est-à-dire la masse de gaz écoulée dans l'unité de temps, $p_0$ la pression et $\rho_0$ la densité dans le gazomètre, $p$ la pression dans le réservoir, $\omega$ la section contractée de la veine et V la vitesse moyenne du gaz dans cette section; il est clair que, si l'on désigne par $\rho$ la pression dans

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, mars 1886.

la section ω, on a

$$V = \frac{W}{\omega\rho};$$

mais la densité ρ est inconnue et rien, dans les expériences, ne pouvait servir à la déterminer. Tout ce que l'on peut affirmer, c'est que cette densité ρ était inférieure à la densité $\rho_0$ dans le gazomètre ; la vitesse V était donc supérieure à la quantité

$$V_0 = \frac{W}{\omega\rho_0}.$$

Dans les expériences de M. Hirn, il a été constaté que le débit W diminuait à mesure que la pression dans le réservoir allait en croissant ; toutefois ce débit restait presque constant tant que la pression dans le réservoir restait inférieure à $4^m$ d'eau, c'est-à-dire à près de la moitié de la pression dans le gazomètre. Les valeurs de $V_0$ qui correspondent à ces premiers instants du mouvement ont été trouvées égales à $260^m$, $264^m$, $204^m$, $199^m$, $290^m$.

On a évidemment

$$V = V_0 \frac{\rho_0}{\rho}.$$

Pour évaluer le rapport $\frac{\rho_0}{\rho}$, M. Hirn suppose que, dans la partie contractée de la veine, la pression est égale à la pression moyenne $p$ dans le réservoir. Regardant la transformation subie par le gaz comme adiabatique, il prend donc $\frac{\rho_0}{\rho} = \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{1}{m}}$, $m$ désignant le rapport des chaleurs spécifiques ; il trouve ainsi qu'au début de ses diverses expériences, où la pression $p$ était de $0^m,136$ d'eau, les vitesses d'écoulement devaient avoir des valeurs égales à $5555^m$, $5691^m$, $4374^m$, $4248^m$, $4362^m$.

Mais l'hypothèse faite par M. Hirn ne paraît pas de nature à être admise. Quelque faible que soit, au début de l'expérience, la densité du gaz que la veine rencontre à sa sortie de l'orifice, elle n'en éprouve pas moins, en raison de sa grande vitesse, une énorme résistance qui détermine dans la veine un surcroît de pression considérable. La valeur qu'il faut attribuer à la densité ρ dans l'orifice est certainement beaucoup plus grande que celle qui a été admise par M. Hirn.

La remarquable constance du débit signalée dans les premiers instants donne même lieu de supposer que la pression dans l'orifice n'est jamais devenue inférieure à $4^m$ d'eau et qu'elle est sensiblement indépendante de la pression dans le réservoir quand cette dernière est plus petite que $4^m$ d'eau.

Quant à la question de savoir s'il existe ou non une limite à la vitesse d'écoulement d'un gaz, elle ne peut en aucune façon être résolue par des expériences de ce genre. Cette limite est, d'ailleurs, purement théorique ; car, pour la calculer, on admet que les gaz conservent les mêmes propriétés jusqu'au zéro absolu de température. On sait que la formule de Zeuner, rela-

tive au mouvement permanent, assigne à cette limite la valeur $a\sqrt{\frac{2}{m-1}}$, $a$ désignant la vitesse du son dans le gaz.

Mais l'étude analytique du mouvement le plus général d'un gaz dans un tuyau cylindrique a conduit M. Hugoniot à une valeur beaucoup plus élevée, savoir $a\frac{2}{m-1}$, ce qui donnerait, pour l'air atmosphérique, environ $1650^m$.

M. VIOLLE remarque que, dans la théorie cinétique des gaz, les vitesses individuelles de certaines molécules peuvent être très supérieures à la vitesse moyenne d'agitation, d'où il résulte qu'une vitesse d'écoulement très grande n'est pas impossible au début du phénomène.

M. TH. SCHWEDOFF rend compte d'un phénomène thermomagnétique.

Le fer porté à l'incandescence n'est plus attiré par un aimant. Si l'on approche un aimant d'un anneau de fer horizontal, porté par un axe vertical, et que l'on chauffe au rouge vif une moitié de l'anneau, celui-ci entre en giration continuelle, à la condition que le pôle de l'aimant se trouve entre la partie chaude et la partie froide de l'anneau. Ce travail de rotation est entretenu aux dépens de la chaleur, dont une certaine quantité disparaît dans le fer de l'anneau.

Voici le procédé de cette transformation, d'après M. Schwedoff.

Si l'on approche du pôle d'un aimant une armature de fer, les axes magnétiques des molécules de l'armature tendent à s'orienter d'une nouvelle manière. Mais deux forces s'opposent à cette orientation : l'action mutuelle des molécules et l'élasticité magnétique dont dépend le coefficient d'aimantation. Si l'on porte l'armature à l'incandescence, le coefficient de cette élasticité augmente; cette force l'emporte sur l'action du pôle et ramène les molécules à leur direction primitive. C'est pour effectuer ce dernier travail qu'est dépensée la chaleur dont il était question.

M. BOUDET DE PARIS présente des épreuves photographiques qu'il a obtenues sans objectif, soit par l'électricité, soit par la lumière réfléchie d'une lampe Carcel.

Les premières épreuves ont été obtenues à l'aide de l'effluve électrique, en posant simplement l'objet à représenter (pièce en relief, cachet gravé en creux, dessin, photographie, etc.) sur une plaque au gélatinobromure d'argent et faisant éclater tout autour des étincelles produites par une machine de Voss.

Dans une deuxième série d'expériences, la photographie a été obtenue avec la lumière réfléchie d'une lampe Carcel : la plaque était posée sur un miroir plan, le côté sensible en haut; l'objet placé directement sur la plaque était maintenu à l'aide d'une feuille opaque. On exposait le tout pendant quelques secondes à la lumière d'une lampe Carcel.

Dans une troisième série, l'objet formait l'armature d'un condensateur dont le diélectrique était la plaque sensible et dont la deuxième armature était représentée par une plaque métallique servant de support. Le condensateur,

chargé à l'aide d'une machine de Voss, était déchargé avec un excitateur.

Dans ces trois séries d'expériences, les images des objets de toute espèce ont été obtenues avec beaucoup de netteté et dans leurs moindres détails. Lorsque la pièce à reproduire présente des reliefs, les saillies sont reproduites en blanc et les creux en noir. Le troisième mode d'opération, à l'intérieur d'un condensateur, est celui qui a donné les résultats les plus parfaits.

Enfin M. Boudet de Pâris a cherché à obtenir des reproductions analogues à l'aide du courant galvanique, en faisant passer le courant à l'intérieur d'un bain de l'objet à la plaque, ou inversement de la plaque à l'objet, mais jusqu'à présent ces essais n'ont pas donné de résultats bien satisfaisants.

M. Hillairet rend compte d'un phénomène remarquable qu'il a observé pendant les essais du paquebot *la Champagne,* de la Compagnie Transatlantique. Ces essais ont eu lieu par mer calme sur les bases de Belle-Isle au commencement du mois de mai.

Pendant les grandes vitesses, il se forme à l'extrême courant une grande quantité de sphéroïdes d'eau qui s'élèvent au-dessus de la masse liquide et semblent décrire, par rapport à l'observateur placé à bord, une espèce de trajectoire parabolique.

Parmi ces sphéroïdes, les uns, de petite dimension, parcourent toute leur trajectoire sans présenter aucune modification dans leur forme.

Les autres, au contraire, dès l'origine de leur course, s'aplatissent graduellement au centre, puis le centre crève, et le solide se transforme en un véritable tore ou *anneau* dont l'axe est vertical.

La plupart de ces anneaux, vers la fin de leur course, se résolvent en gouttelettes irrégulières; quelques-uns, en nombre extrêmement restreint, se résolvent en sphéroïdes réguliers, lancés dans l'espace tangentiellement au cercle de giration du tore primitif et restent animés du mouvement de translation commun.

M. Hillairet n'a pu observer ceux-ci que très rarement, et seulement pendant les quelques essais à pleine vitesse.

Le phénomène des anneaux simples devient facilement visible à partir de la vitesse de 17 nœuds environ.

Le phénomène acquiert toute son intensité et devient très régulier à la vitesse maxima obtenue, soit 19,37 nœuds, qui correspond à un déplacement de $9^{m},96$ par seconde.

A ce moment, la puissance développée sur les pistons de la machine de l'hélice était 9500 chevaux. La longueur du bateau est de $150^{m}$ entre perpendiculaires. Sa largeur au maître-couple, hors membres, est de $15^{m}$.

On peut rapprocher de ce phénomène les résultats de certaines expériences de Plateau venant à l'appui des recherches antérieures sur la formation des systèmes planétaires.

Ce phénomène, qui n'a jamais été ni décrit ni observé, paraît résulter des vitesses élevées obtenues et de la finesse des lignes d'eau du bateau.

---

## *Sur la vitesse limite d'écoulement des gaz;*

par M. Hugoniot.

Quand deux réservoirs A et B, contenant un même gaz à des pressions différentes $p_0$ et $p_1$, telles que $p_0$ soit supérieur à $p_1$, sont mis en communication, il s'établit un écoulement du réservoir A dans le réservoir B. Si les pressions $p_0$ et $p_1$ varient très lentement, on peut regarder le mouvement comme permanent, sauf peut-être dans les premiers instants. Il se forme alors une veine dans laquelle la pression diminue de $p_0$ à $p_1$ quand on se déplace le long de cette veine, dans le sens du mouvement. La vitesse, nulle dans la partie de la veine où la pression est $p_0$, croît à mesure que l'on s'en éloigne et atteint sa plus grande valeur dans la section où la pression est devenue $p_1$. C'est à cette valeur maximum que l'on donne d'habitude le nom de *vitesse d'écoulement*.

Lorsque la pression $p_1$ diminue, la pression $p_0$ restant constante, la vitesse d'écoulement se montre croissante. On peut se demander si elle converge vers une limite finie quand $p_1$ tend vers zéro ou si, au contraire, dans ces conditions, elle augmente indéfiniment.

On sait que la Thermodynamique conduit à représenter la vitesse d'écoulement V par la formule dite de Weisbach ou de Zeuner

$$V = a\sqrt{\frac{2}{m-1}}\sqrt{1-\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{m-1}{m}}}\ (^1),$$

$m$ désignant le rapport des chaleurs spécifiques et $a$ la vitesse normale du son qui correspond à la pression $p_0$ et à la densité $\rho_0$ dans le réservoir A, savoir $\sqrt{\frac{mp_0}{\rho_0}}$. D'après cette formule, la vitesse V convergerait, quand $p_1$ tend vers zéro, vers une limite égale à $a\sqrt{\frac{2}{m-1}}$ qui, pour l'air atmosphérique, pris dans les

(1) Cette formule a été donnée pour la première fois par MM. de Saint-Venant et Wantzel (*Journal de l'École Polytechnique*, t. XVI; 1839).

conditions ordinaires de température et de pression, serait d'environ 735$^m$.

M. Hirn a exécuté dans ces derniers temps une importante série d'expériences en vue de rechercher s'il existe réellement une vitesse limite d'écoulement des gaz ([1]). Il opérait sur l'air atmosphérique; la pression $p_0$ était égale à la pression normale. Quant à la pression $p_1$, elle variait dans le cours d'une même expérience, mais sa valeur initiale était égale à $0^m,01$ de mercure. M. Hirn mesurait le débit, c'est-à-dire la masse de gaz qui s'écoulait pendant l'unité de temps, et il en déduisait les vitesses d'écoulement. La méthode de calcul qu'il employait l'a conduit, pour les cas où la pression $p_1$ était très faible, à assigner à ces vitesses des valeurs très considérables, bien supérieures à celles qui sont indiquées par la formule de Zeuner et par les autres formules proposées jusqu'à ce jour. Ainsi, d'après lui, la vitesse d'écoulement aurait été supérieure à 4000$^m$ quand la pression $p_1$ n'était que de $0^m,01$ de mercure. Il déclare, du reste, que si la pression $p_1$ convergeait vers zéro, la vitesse en question croîtrait indéfiniment.

M. Hirn s'est attaché spécialement à montrer que ces résultats étaient en contradiction avec la théorie cinétique des gaz; mais on n'arriverait pas davantage à expliquer de semblables vitesses en partant des propriétés physiques qui caractérisent les gaz parfaits, abstraction faite de toute hypothèse sur leur constitution. Il est donc impossible d'admettre ces nombres sans les soumettre à une discussion sérieuse.

Or, pour déduire la vitesse du débit mesuré, M. Hirn était obligé de faire diverses hypothèses dont l'une consistait à admettre que la pression dans l'orifice ou, plus exactement, dans la section contractée de la veine, était toujours égale à la pression finale $p_1$, quelle que fût la valeur de cette pression. Mais cette hypothèse est complètement inexacte quand la pression $p_1$ est très faible. La veine conserve encore dans l'orifice une pression bien supérieure à $p_1$; elle s'épanouit après sa sortie et la pression ne devient égale à $p_1$ qu'en un point où la veine a déjà subi une grande dilatation. On peut même démontrer que la pression dans la section con-

([1]) *Annales de Chimie et de Physique,* mars 1886.

tractée n'est jamais inférieure à la moitié de la pression initiale $p_0$ (¹).

Représentant par W le débit, par $\omega$ l'aire de la section contractée (²), il est visible que, si le gaz ne subissait pas de dilatation, sa vitesse dans la section contractée serait

$$V_0 = \frac{W}{\omega \rho_0}.$$

Mais, si l'on désigne par $\rho_x$ la densité, par $V_x$ la vitesse réelle dans la section contractée, on a

$$V_x = V_0 \frac{\rho}{\rho_x}.$$

D'ailleurs, en regardant la transformation comme adiabatique, on a

$$\rho_x = \rho_0 \left(\frac{p_x}{p_0}\right)^{\frac{1}{m}},$$

$p_x$ étant la pression dans la section contractée; donc

$$V_x = V_0 \left(\frac{p_0}{p_x}\right)^{\frac{1}{m}} = \frac{W}{\omega \rho_0} \left(\frac{p_0}{p_x}\right)^{\frac{1}{m}}.$$

Les valeurs de $V_0$ calculées par M. Hirn, pour le cas où la pression $p_1$ était égale à $0^m,01$ de mercure, ont été, dans diverses expériences, les suivantes :

$$260^m,\quad 264^m,\quad 204^m,\quad 199^m,\quad 200^m,\quad 201^m.$$

En faisant dans la formule ci-dessus $p_x = p_1$, il en a déduit, pour $V_x$, les valeurs

$$5555^m,\quad 5691^m,\quad 4374^m,\quad 4247^m,\quad 4362^m,\quad 4295^m,$$

---

(¹) Par une méthode qu'il serait trop long de développer ici, on trouve que la pression dans la section contractée est égale à $p_1$ si $\frac{p_1}{p_0} > 0,522$, mais que si $\frac{p_1}{p_0}$ est inférieur à 0,522, la pression dans la section contractée est toujours $0,522 p_0$ (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 28 juin et 26 juillet 1886).

(²) M. Hirn déterminait la section contractée $\omega$ au moyen d'expériences préalables et la regardait comme indépendante du rapport $\frac{p_1}{p_0}$.

toutes supérieures à 4000m. De plus, le débit W s'étant montré sensiblement indépendant de $p_1$ quand cette pression était inférieure à une certaine limite, M. Hirn concluait de la même formule que $V_x$ augmentait indéfiniment quand $p_1$ convergeait vers zéro.

Mais, ainsi qu'on l'a fait observer, la pression $p_x$ n'était jamais en réalité inférieure à $\frac{1}{2}p_0$; la valeur maximum du rapport $\frac{p_0}{p_x}$ était ainsi égale à 2, de sorte que les vitesses $V_x$ ont été bien moins considérables que ne l'a supposé l'auteur des expériences ([1]).

Lorsque la pression $p_x$ est supérieure à $p_1$, la vitesse continue à croître au delà de la section contractée, mais suivant une loi que les expériences ne faisaient pas connaître; ces dernières ne peuvent donc servir à déterminer la vitesse limite d'écoulement. Mais les résultats des expériences étant parfaitement d'accord avec la formule de Zeuner et la vérifiant, tout au moins jusqu'à la section contractée de la veine, il est assez naturel de regarder cette formule comme encore applicable pour la partie de la veine qui se trouve au delà de la section contractée et d'admettre, par suite, pour limite de vitesse d'écoulement, la quantité $a\sqrt{\frac{2}{m-1}}$ indiquée par la formule de Zeuner.

Mais cette valeur correspond au cas particulier du mouvement permanent. Lorsqu'on fait abstraction de la permanence, on trouve une autre vitesse limite, notablement supérieure à la précédente.

Pour définir cette vitesse, on peut considérer un cylindre indéfini dans un sens et renfermant un gaz à la densité $\rho_0$ et à la pression $p_0$. La colonne supposée en repos à l'instant initial est limitée en A par un piston de masse M. Les différents mouvements qui peuvent s'y propager sont représentés par des formules que j'ai données dans un travail antérieur ([2]) et qui conduisent aux conséquences suivantes.

---

([1]) La valeur maximum de $\frac{p_x}{p_0}$ étant exactement 0,522, on trouve pour $V_x$ les valeurs suivantes : 412m, 419m, 324m, 316m, 317m, 319m. Elles sont encore exagérées, surtout les deux premières, car la valeur attribuée à la section $\omega$ devenait trop faible quand la pression $p_1$ était très petite.

([2]) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 26 octobre 1885.

Si le vide absolu existe à droite du piston A et qu'on l'abandonne à lui-même, ce piston prend une vitesse qui croît avec le temps et qui converge vers une limite indépendante de M. Cette vitesse limite est égale à $\frac{2a}{m-1}$; elle ne serait atteinte qu'au bout d'un temps infini; mais la vitesse de la masse M se rapproche d'autant plus rapidement de sa limite que M est plus petit. Quand on fait converger M vers zéro, la vitesse, au bout d'un temps très petit $t$, converge vers la limite en question, de sorte que, si la masse M disparaissait, la tranche gazeuse extrême prendrait presque instantanément cette vitesse $\frac{2a}{m-1}$.

On peut encore supposer que, le système étant primitivement en repos, on imprime au piston A une vitesse progressivement croissante et dirigée de manière à dilater le gaz. Quel que soit le mouvement imprimé à ce piston, pourvu que sa vitesse varie d'une manière continue, le vide absolu se produit à l'arrière dès que la vitesse dépasse $\frac{2a}{m-1}$.

Les lois de l'Hydrodynamique et de la Thermodynamique conduisent ainsi à considérer deux vitesses limites d'écoulement; l'une $\frac{2a}{m-1}$ est celle qui se développerait au début de l'écoulement dans le vide absolu; l'autre $a\sqrt{\frac{2}{m-1}}$ est celle qui finirait par être réalisée dans le cas de l'écoulement dans le vide absolu, si le régime permanent parvenait à s'établir. Pour l'air atmosphérique, dans les conditions normales, la première vitesse est d'environ $1650^m$, tandis que la seconde est à peu près égale à $735^m$.

---

## *Sur un phénomène thermomagnétique;*

par M. Th. Schwedoff.

Le fer porté à l'incandescence n'est plus attiré par un aimant. Supposons que nous ayons un anneau horizontal de fer supporté par un axe vertical et mobile autour de cet axe. Si l'on approche un aimant de l'anneau, celui-ci restera immobile, puisque les

forces d'attraction ont une résultante qui passe par l'axe. Mais admettons qu'une moitié de l'anneau soit chauffée par une flamme au rouge vif, tandis que l'autre reste froide. Dans ce cas, le pôle de l'aimant, placé entre les deux moitiés, n'agira que sur la partie froide de l'anneau. L'équilibre ne sera plus possible. La moitié froide sera toujours attirée par le pôle, et il en résultera une gyration continuelle de l'anneau.

Le fait de l'influence de la température sur les propriétés magnétiques du fer est connu de tout le monde; et même, je ne crois pas que personne avant moi ait eu l'idée de construire un moteur pareil à celui-là. Mais ce qui me paraît avoir un intérêt spécial, ce sont les conclusions qu'on peut tirer de l'expérience que je viens d'indiquer.

Si petit que soit le frottement de l'axe sur lequel tourne l'anneau, c'est toujours une résistance à surmonter, un travail à effectuer. Il faut bien que quelque chose soit dépensé ou perdu pour produire ce travail.

Évidemment, ce ne sont pas les forces magnétiques seules qui travaillent ici. Ces forces, on le sait, ont un potentiel, et une force pareille ne peut pas fournir un travail illimité; autrement on aurait un mouvement perpétuel. L'attraction exercée par l'aimant ne peut pas être ici l'agent du mouvement comme l'élasticité de la vapeur ne l'est pas dans une machine à vapeur.

L'idée naturelle serait que le mouvement de l'anneau est entretenu aux dépens de la chaleur perdue, c'est-à-dire que, à part la chaleur dépensée pour élever la température de l'anneau et la chaleur dispersée dans l'air ambiant, une certaine quantité de chaleur se transforme en travail et disparaît comme chaleur. Le moteur dont il s'agit ne serait qu'un genre particulier des machines caloriques.

Mais cette transformation de la chaleur perdue en travail exige une explication détaillée.

Réduisons l'expérience au schéma le plus simple.

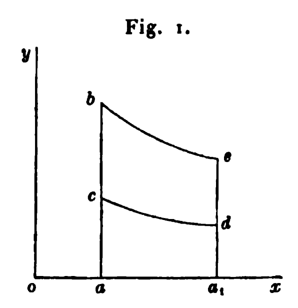
Imaginons-nous une balle de fer suspendue à un fil vertical. Approchons de cette balle le pôle nord d'un aimant. Les molécules du fer dont les axes magnétiques étaient dirigés, à l'état neutre, dans tous les sens, tendent à s'orienter de manière à tourner leurs pôles sud vers l'aimant. Mais deux forces s'opposent à cette nou-

velle orientation : c'est d'abord l'action mutuelle des aimants moléculaires dans leur position nouvelle, et puis la force inhérente à la matière de la balle et dont dépend le coefficient d'aimantation. Je compare cette force à l'élasticité et je l'appellerai *élasticité magnétique*. L'action simultanée des trois forces détermine l'orientation définitive des molécules de la balle. Celle-ci acquiert un certain moment magnétique et s'approche du pôle de l'aimant.

Portons la balle à l'incandescence. Mon hypothèse est que la température influe sur le coefficient de l'élasticité magnétique et que, dans le voisinage de la température du rouge vif, ce coefficient augmente avec la température. Il en résulte que l'équilibre des trois forces n'est plus possible. La force de l'élasticité magnétique, devenue plus grande, l'emporte sur l'action du pôle et ramène les axes des molécules à peu près à leur direction primitive. La balle se désaimante et revient à sa place.

Or, pour ramener les axes des molécules à leur direction initiale un travail est nécessaire, et c'est pour effectuer ce travail qu'est dépensée la chaleur dont il était question.

Fig. 1.




Ce mode de transformation de la chaleur en travail mécanique n'offre rien d'exceptionnel. Une bande de caoutchouc, étirée par un poids considérable suspendu à un de ses bouts, se raccourcit sous l'action de la chaleur et fait remonter le poids. Il en résulte que la force élastique de la bande augmente avec la température. En même temps, il se produit un travail mécanique et une certaine quantité de chaleur disparaît de la bande : celle-ci se refroidit sensiblement. J'ajouterai que le jeu de nos machines à vapeur n'est autre chose qu'une transformation de la chaleur en travail mécanique par l'intermédiaire de la force élastique de la vapeur d'eau.

Cette manière de voir nous permet d'appliquer à l'étude du thermomagnétisme le procédé graphique dont on se sert dans la thermomécanique.

Désignons par $r$ (*fig.* 1) la distance entre le pôle de l'aimant et la balle de fer et par $f$ la force de leur attraction mutuelle. Portons $r$ sur l'axe des abscisses et $f$ sur l'axe des ordonnées. A un certain moment ces coordonnées sont $r = oa$, $f = ab$. Si l'on porte la balle à l'incandescence, l'attraction diminue sans que la distance varie, et il vient $r = oa$, $f = ac$. Écartons la balle du pôle : la distance et la force varient en même temps, et elles deviennent $r = oa'$, $f = a_1 d$. Laissons refroidir la balle à sa température initiale. La force d'attraction augmente et l'on a $r = oa_1$, $f = a_1 e$. Ramenons la balle à sa position initiale. La distance et la force redeviennent $f = ab$, $r = oa$. Il est évident que le travail dépensé par la force extérieure est égal à l'aire $aa_1 dc$; le travail dépensé par la force d'attraction est égal à l'aire $aa_1 eb$, et le travail total gagné par la force extérieure est égal à l'aire limitée par le circuit fermé $cdeb$. C'est aussi la mesure de la chaleur absorbée dans la balle.

Il est évident aussi qu'on peut créer de la chaleur dans la balle si l'on renverse l'ordre de la transformation indiquée, c'est-à-dire si l'on écarte la balle du pôle quand elle est froide et si on la rapproche quand elle est portée à l'incandescence.

Mais il en résulte aussi qu'on n'a ni absorption ni dégagement de chaleur si la température de la balle reste constante dans tous ses déplacements, à la condition que la balle revienne à sa position primitive. L'acte d'aimantation et de désaimantation successives n'est pas capable de modifier l'état thermique d'une armature de fer.

Il va sans dire que je fais abstraction des courants induits qui accompagnent la variation du moment magnétique de l'armature. Des courants pareils dépendent de la conductibilité de l'armature et peuvent avoir lieu dans le cuivre aussi bien que dans le fer.

---

## SÉANCE DU 4 JUIN 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 21 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Rousseau (Paul), fabricant de produits chimiques, à Paris.

M. le Président annonce que M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts a bien voulu accorder à la Société une allocation de 240fr pour la publication des Mémoires.

M. Schwedoff, professeur de Physique à l'Université d'Odessa, communique le résultat de ses recherches sur la nature des mouvements cycloniques de l'atmosphère.

D'après la théorie de M. Faye, les mouvements cycloniques prennent naissance dans les couches supérieures de l'atmosphère; c'est son hypothèse. La conséquence en est que les girations descendent et refoulent vers le sol l'air des hautes régions. Par contre, l'hypothèse de la majorité des météorologistes est que l'aspiration et la giration de l'air commencent dans le voisinage du sol, et la conséquence en est que l'air des couches inférieures remonte vers les régions élevées.

M. Schwedoff émet l'avis que ces deux théories sont toutes les deux en contradiction avec l'expérience. Le fait est que les conséquences des météorologistes dérivent de l'hypothèse de M. Faye et *vice versa*.

Cette thèse est démontrée par l'expérience suivante. Un vase parallélépipédique formé de glaces de verre contient certaines solutions de sels, disposées dans l'ordre de leurs densités. On imprime un mouvement giratoire aux diverses couches de ces solutions et l'on observe que les tourbillons sont descendants si la giration du liquide commence en bas, et qu'ils sont ascendants si la giration commence en haut. M. Schwedoff explique la raison de ces mouvements et conclut que les girations cycloniques de l'atmosphère ne commencent ni en haut ni en bas. Elles se forment d'un coup, depuis les limites de l'atmosphère jusqu'au sol.

M. Cailletet expose le résultat d'expériences faites en collaboration avec M. E. Mathias, relativement à la mesure de la densité des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées. Les difficultés et les dangers qu'on éprouve à manier ces corps sous des pressions élevées n'ont pas permis aux premiers expérimentateurs d'obtenir des données un peu précises sur la densité des gaz liquéfiés. D'autre part, seule, la densité de la vapeur d'eau saturée a été mesurée expérimentalement par Fairbairn et Tate.

MM. Cailletet et Mathias se sont proposé de mesurer ces deux sortes de

densités au moyen d'appareils en verre, d'une grande simplicité, pouvant résister à des pressions de plus de cent atmosphères. Ces appareils sont disposés de telle sorte qu'une même masse de gaz peut, sans crainte de perte ou de mélange, être condensée dans le tube où on l'étudie, et cela autant de fois que l'expérience l'exige.

I. Le point de départ est la mesure de la densité de vapeur saturée. On se sert, pour cela, d'un tube de verre épais, exactement jaugé et soudé à un réservoir cylindrique d'environ $60^{cc}$, ouvert au bas. Le réservoir est vissé sur l'éprouvette de l'appareil Cailletet. Le réservoir a été rempli préalablement d'un poids connu de gaz pur et sec. Le tube gradué est maintenu à température constante. On liquéfie partiellement le gaz dans le tube, puis on décomprime lentement jusqu'à ce que la dernière trace de liquide disparaisse, ce que l'on apprécie avec précision au moyen d'une lunette. Un calcul facile donne la densité de la vapeur saturée. Les premières recherches ont porté sur le protoxyde d'azote, l'éthylène et l'acide carbonique.

II. On mesure la densité des gaz liquéfiés au moyen d'un tube en forme d'O, long de $0^{m},50$, relié par un tube en verre recourbé à un réservoir d'environ $600^{cc}$ fixé au moyen d'un écrou sur une grande éprouvette en acier renfermant du mercure.

Lorsque l'on comprime le gaz contenu dans le réservoir et qu'on refroidit l'une des branches verticales du tube en O, le gaz liquéfié vient distiller dans cette branche et déprime le mercure; on élimine la capillarité en condensant un peu de liquide dans la seconde branche.

Soient $h$ la différence des hauteurs du liquide condensé dans les deux branches et $x$ la densité de ce liquide.

Soient $h'$ et $\delta$ la dénivellation du mercure et sa densité, et $d$ la densité de la vapeur saturée à $t^{\circ}$, on a

$$hx = h'\delta + (h - h')d,$$

d'où l'on tire $x$.

Les expériences ont porté sur le protoxyde d'azote, l'éthylène et l'acide carbonique.

Les méthodes précédentes s'appliquent à tous les gaz dont le point critique est supérieur à la température de congélation du mercure.

On sait que M. Sarrau a pu calculer, au moyen des Tables de Clausius, les volumes spécifiques de l'acide carbonique à l'état de liquide et de vapeur saturée.

Les expérimentateurs ont comparé leurs résultats à ceux de M. Sarrau. Pour la densité de vapeur, l'accord est parfait. Quant au liquide, il y a sensiblement accord au-dessous de zéro; au-dessus de zéro, les nombres trouvés par l'expérience sont un peu plus grands que les nombres calculés.

Dans la construction graphique des densités, chaque corps donne deux courbes qui se raccordent au point critique, et l'on trouve que le diamètre conjugué des cordes verticales est sensiblement une droite peu inclinée sur l'axe des abscisses. De là un moyen pratique de déterminer graphiquement

la densité au point critique quand on connaît la température critique. On trouve ainsi :

| | |
|---|---|
| Acide carbonique ........................... | 0,46 |
| Protoxyde d'azote ........................... | 0,41 |
| Éthylène ........................... | 0,22 |

Enfin l'examen des courbes montre ce qu'on sait depuis Thilorier et Drion, c'est que la dilatation du gaz liquéfié est plus grande que celle de sa vapeur.

M. Vaschy expose le résultat de calculs qu'il a faits en vue de déterminer la vitesse de propagation de l'électricité le long d'un fil conducteur rectiligne.

Après avoir rappelé les tentatives faites par Wheatstone, Fizeau et Gounelle, etc., pour mesurer cette vitesse, ainsi que la théorie de la propagation établie par Sir W. Thomson en partant de l'équation connue

$$(1) \qquad \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR \frac{\partial V}{\partial t},$$

il fait observer que cette théorie conduit à une vitesse infinie, mais qu'il suffit, pour trouver une vitesse finie et indépendante de la longueur du fil conducteur, de tenir compte, non seulement de la capacité C et de la résistance R, mais encore de la self-induction L du fil. L'équation précédente ainsi complétée devient

$$(2) \qquad \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR \frac{\partial V}{\partial t} + CL \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}.$$

Elle est de même forme que l'équation des cordes vibrantes que l'on obtient en tenant compte de la tension T, de la masse $\varpi$ par unité de longueur et de la résistance de l'air (coefficient $k$), savoir

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{k}{T} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\varpi}{T} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}.$$

La vitesse de propagation du mouvement le long de la corde est $a = \sqrt{\frac{T}{\varpi}}$.

Par analogie, la vitesse de propagation de l'électricité est donc $a = \frac{1}{\sqrt{CL}}$.

Les ondes électriques, toutefois, sont déformées ou diffusées d'autant plus que la résistance R est plus grande, et rigoureusement il n'y aurait lieu de les considérer comme se propageant avec une vitesse uniforme que dans le cas limité où R serait nul ou négligeable.

Si l'on fait le calcul de la vitesse $a$ pour un fil aérien de diamètre *infiniment petit*, les formules de C et de L conduisent à la valeur $a = u$, $u$ étant le rapport des unités électrostatiques et électromagnétiques, c'est-à-dire environ 300000[km] par seconde.

On trouve le même résultat en considérant la propagation de l'électri-

cité sur deux fils parallèles isolés dans un diélectrique indéfini, en tenant compte de l'induction mutuelle et de la self-induction de ces fils, ainsi que de leur capacité électrostatique.

L'équation générale (2), en tenant compte de la résistance R, admet la solution $V = e^{-bx} \sin m\left(t - \frac{x}{a}\right)$, $m$, $a$ et $b$ étant des constantes. Donc, à part le coefficient d'affaiblissement $e^{-bx}$, on peut dire que des ondes sinusoïdales se propagent avec une vitesse $a$, laquelle est inférieure à $\frac{1}{\sqrt{CL}}$. L'extrémité du fil étant à la terre, les ondes s'y réfléchissent, et les ondes d'aller et de retour par leur superposition donnent des nœuds et des ventres, dont la position peut être déterminée au moyen d'un électrodynamomètre et fournir une valeur de la vitesse $a$.

L'équation (2) ne peut être établie et n'a plus de sens au point du fil où l'onde commence à arriver, ni en un point où la variation du courant serait trop brusque. Elle n'est donc qu'une approximation, très suffisante en général, mais qui, dans des cas extrêmes, conduirait à des vitesses aussi grandes qu'on le voudrait, ce qui est absurde.

M. Vaschy rappelle enfin que Maxwell a établi sa théorie électromagnétique de la lumière dans le cas de milieux homogènes indéfinis, soit diélectriques, soit imparfaitement isolants, soit bons conducteurs. Dans le cas d'un milieu conducteur, il arrive à une équation analogue à l'équation (1), qui est aussi celle de Fourier pour la propagation de la chaleur; mais la résistance R y est remplacée par la conductibilité.

M. Hugoniot fait observer que l'équation

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR\frac{\partial V}{\partial t} + CL\frac{\partial^2 V}{\partial t^2},$$

étant supposée rigoureusement établie, fournit pour la vitesse de propagation une valeur constante et égale à $\sqrt{\frac{1}{CL}}$.

Il faut pour cela définir la vitesse de propagation de l'électricité de la façon suivante : Un fil conducteur étant primitivement à un potentiel $V_0$, on fait varier d'une manière continue le potentiel de son extrémité. Il arrive alors qu'à chaque instant le fil est séparé pour un point A en deux parties : dans l'une le potentiel est encore égal à $V_0$, dans l'autre il est variable; la vitesse du point A est la vitesse de propagation de l'électricité.

M. Cornu fait remarquer que l'on revient, par la force des choses, à la notion d'une propagation de l'électricité proportionnelle au temps, notion abandonnée pendant de longues années, malgré les résultats expérimentaux de MM. Fizeau et Gounelle, pour chercher à identifier cette propagation à la diffusion de la chaleur. Les expériences récentes de M. Werner Siemens et de M. Hagenbach sur la propagation à travers les fils aériens ont

confirmé les idées de MM. Fizeau et Gounelle. La pratique télégraphique avait d'ailleurs montré que, même dans les câbles, le rendement est en raison inverse plutôt de la longueur que du carré de la longueur du câble; résultat tout à fait favorable à l'existence d'une vitesse de propagation constante (*Comptes rendus*, t. LXXXVI, p. 1120).

M. Lippmann dit que les conclusions de M. Vaschy sont d'accord avec celles que M. Kirchhoff avait établies en 1857. Ce physicien a montré qu'une perturbation électrique se propage dans un fil infiniment mince avec une vitesse égale à celle de la lumière. Le travail de M. Kirchhoff peut être considéré comme le point de départ de la théorie électromagnétique de la lumière.

---

## *Sur la nature des mouvements cycloniques de l'atmosphère;*

### par M. Th. Schwedoff.

D'après l'opinion de M. Faye, les mouvements gyratoires de notre atmosphère prennent naissance en haut, dans la couche des cirrus; c'est son hypothèse. La conséquence en est que ces gyrations descendent et refoulent vers le sol l'air froid et relativement sec des hautes régions. Par contre, l'hypothèse de la majorité des météorologistes est que l'aspiration et la gyration de l'air commencent en bas, dans le voisinage du sol, et la conséquence en est que l'air chaud et humide des couches inférieures remonte vers les régions élevées.

Mon avis est qu'un grave malentendu préside à toutes les discussions sur le siège primitif des gyrations cycloniques. Le fait est que les conséquences des météorologistes dérivent de l'hypothèse de M. Faye et *vice versa*. Si une gyration commence en haut, elle doit avoir pour effet un appel d'air, une ascension des couches inférieures; ou bien, si la gyration se produit dans le voisinage du sol, il doit en résulter une descente de l'air des couches supérieures; de sorte qu'avec les tourbillons ascendants on doit s'arrêter à l'hypothèse de M. Faye, et, en partant de l'idée des tourbillons descendants, on tombe sur l'hypothèse des météorologistes.

Pour prouver cette thèse, je remplace l'atmosphère par deux liquides, deux solutions de sels, choisies convenablement pour imiter réellement ce qui se passe dans l'atmosphère. Ces liquides

sont des solutions, dans de l'eau de source, de carbonate de soude (densité 1,03) et de chlorure de calcium (densité 1,08). Séparés, ces liquides sont incolores, transparents; mélangés, ils forment un précipité blanc, de la craie finement pulvérisée. Un vase parallélépipédique formé de glaces de verre sert à contenir les liquides. Deux disques métalliques horizontaux, portés par deux tiges verticales, plongent dans les liquides et permettent d'imprimer à ceux-ci un mouvement de gyration.

Supposons qu'il s'agisse de gyrations qui arrivent d'en haut, c'est l'hypothèse de M. Faye. On imprime quelques tours à la manivelle qui commande le disque supérieur; aussitôt on voit des filets de nuages se détacher de la couche opaque qui sépare les deux liquides au-dessous du disque. A mesure qu'on accélère la rotation, la surface de cette couche renfle à son centre; les nuages qui en émanent deviennent de plus en plus épais, s'étirent vers le disque en s'enroulant sur l'axe géométrique de rotation. Des veines liquides de la solution inférieure font irruption dans la solution supérieure en dépit de leur densité plus considérable, se frôlent contre le milieu ambiant et dégagent un brouillard du précipité blanc. Il se forme dans le vase un ouragan en miniature. La masse en mouvement forme une espèce de cône droit à génératrice courbe, convexe du côté dirigé vers l'axe du tourbillon. Chaque particule décrit, en s'élevant, une spire hélicoïdale dont le diamètre diminue graduellement.

Ainsi, quand l'origine des gyrations se trouve en haut « et ne se trouve que là », on a en bas le contraire de ce qu'en attend M. Faye : les tourbillons sont centripètes et ascendants. On a les tourbillons des météorologistes.

Passons à l'hypothèse des météorologistes, gyrations partant du sol. On n'a qu'à renverser l'expérience. Donnons quelques coups de rotation au disque intérieur de notre appareil. Maintenant ce sont les couches les plus basses, les plus denses du liquide, d'où partent les gyrations, et l'aspect du phénomène change complètement. La couche opaque qui sépare les deux solutions manifeste une agitation, s'abaisse à son centre et forme une espèce de protubérance dirigée vers le bas. Un groupe d'appendices en forme d'entonnoir se détachent de cette protubérance, s'étirent, s'enroulent dans le sens de la rotation du liquide. D'autres appendices

les suivent, et il s'en forme un cône renversé dont la base est en haut et dont le sommet touche le fond du vase. La figure de cette masse de lambeaux pendillants, tourmentés dans tous les sens par les courants du liquide, ressemble à l'aspect des vrais nuages qui précèdent immédiatement un orage. Encore quelques tours de manivelle et notre orage artificiel éclate. Des flots du liquide supérieur, malgré leur légèreté relative, envahissent les couches inférieures, se mêlent à celles-ci et dégagent une averse du précipité. On s'assure facilement que chaque particule engendre une spire hélicoïdale descendante dont le diamètre diminue progressivement. On a justement ce genre de tourbillons sur lequel insiste M. Faye. Seulement cette fois nous sommes dans l'hypothèse des météorologistes.

La théorie des mouvements gyratoires au sein du liquide, créée par M. Helmholtz et développée par Sir W. Thomson, par Kirchhoff, Beltrami et par d'autres savants, forme une partie très importante de l'Hydrodynamique. Comme je ne peux pas reproduire ici cette théorie dans tous ses détails, j'essayerai de donner une autre tournure au problème qui nous intéresse.

Je pose en principe que l'effet produit sur le milieu ambiant par une colonne d'air en gyration est la résultante des actions partielles de toutes les couches dont cette colonne est constituée. Étant donné qu'une lame fluide circulaire est douée d'un mouvement gyratoire autour d'un axe normal à son plan et passant par son centre, la force centrifuge doit projeter les particules en mouvement vers la périphérie de la lame. Il en résulte une diminution de pression dans la partie centrale de la lame et une force d'aspiration dirigée vers le centre. Sous l'action de cette force, les particules situées au-dessus et au-dessous de la lame affluent vers l'axe de gyration, tandis que les particules contenues dans le plan de la lame, sollicitées par la force centrifuge, s'éloignent de plus en plus de cet axe. La propagation du tourbillonnement dans le milieu ambiant et la diminution progressive de la vitesse linéaire des particules en sont les conséquences nécessaires. Un tourbillon pareil est nécessairement passager; il se dissipe dans le milieu et disparaît, à moins que la gyration de la lame liquide ne soit entretenue aux dépens de forces extérieures, comme cela a lieu dans l'expérience décrite ci-dessus.

Passons maintenant à une colonne d'air en gyration. Je suppose que cette colonne est cylindrique, verticale, et qu'elle se termine en bas et en haut par deux surfaces idéales, pénétrables aux courants du fluide. J'appellerai une colonne pareille *tourbillon à bases ouvertes*.

Désignons par $a$, $b$, $c$, ..., $x$, $y$, $z$ les couches consécutives horizontales dont la colonne est composée, et admettons que la vitesse de gyration est la même dans toutes les couches. Dans ces conditions les particules d'une couche quelconque intermédiaire $m$ sont sollicitées par deux forces d'aspiration, celle de la couche $l$ et celle de la couche $n$. Ces deux forces étant égales et de sens contraires s'entre-détruisent. Il n'y a pas d'aspiration dans les couches moyennes de la colonne. Ce sont les bouts de la colonne, les couches $a$ et $z$ les premières, qui usent leur force vive de gyration à pomper l'air du dehors. Ensuite c'est aux couches $b$ et $y$ à dissiper à leur tour la force vive dans le milieu environnant. Il en résulte que la colonne en gyration se raccourcit et s'élargit jusqu'à ce que sa force vive se dissipe dans le milieu. Un tourbillon à bases ouvertes ne peut pas durer indéfiniment.

Mais il en est autrement si les bases d'une colonne en gyration sont formées, non pas par des plans idéals, mais par des surfaces matérielles, résistantes, impénétrables aux courants du fluide. Dans ce cas, et seulement dans ce cas, la force centrifuge de gyration est partout contre-balancée par la pression du milieu ambiant. Le fluide n'est pas aspiré du dehors dans l'intérieur de la colonne. Les particules ne descendent ni ne remontent le long du tube tourbillonnant; elles ne sont nulle part projetées en dehors de la colonne. La force vive ne se dissipe plus : elle se conserve indéfiniment dans la masse même en gyration. Un *tourbillon à bases fermées* est un état cinétique doué de stabilité parfaite. Il va sans dire que je fais abstraction des frottements des molécules entre elles et contre les parois des bases.

Pour obtenir ce genre de bouillonnement, il n'est pas toujours nécessaire de fermer les bases par des parois solides. On peut y arriver en appuyant une des bases, ou toutes les deux bases sur le niveau libre du fluide; il n'y aura pas d'aspiration aux bases puisqu'il n'y a pas de fluide au delà de ce niveau. Seulement l'abaissement de la pression à l'intérieur de la colonne et le surcroît de

pression à la périphérie du tourbillon seront décelés, à la surface du niveau, par une dépression conique centrée sur l'axe de gyration et par un bourrelet circulaire tout autour de cette dépression, ou bien, pour obtenir un tourbillon fermé, on peut recourber la colonne en forme d'anneau et rapprocher les deux bases l'une de l'autre jusqu'au contact. Dans ce cas aussi il n'y aura pas d'aspiration parce qu'il n'y aura plus de bases. On aura un tourbillon annulaire.

Les mouvements cycloniques de notre atmosphère possèdent une stabilité étonnante : ils peuvent durer des semaines et même des mois. La dissipation finale des cyclones s'explique suffisamment par le frottement des molécules, dont la théorie ne tient pas compte. De là on doit conclure que les cyclones atmosphériques ont toujours leurs bases fermées, d'une part par le sol et de l'autre par le niveau libre de l'atmosphère, et, comme elles s'étendent du haut jusqu'au bas sans interruption, ces gyrations ne commencent ni en haut, ni en bas. Elles s'engendrent tout d'une pièce et d'un seul coup par un procédé dont on ne prévoit pas encore la nature.

Quant aux mouvements d'ascension ou d'aspiration observés dans certains tourbillons, ces mouvements ne plaident nullement en faveur d'une hypothèse quelconque émise jusqu'à ce jour. L'aspiration résulte nécessairement du frottement exercé par le sol sur les molécules de l'air. En vertu de ce frottement, la vitesse de gyration dans le voisinage du sol est moindre que celle à une certaine altitude. Il en résulte que la force centrifuge des couches supérieures l'emporte sur celle des couches inférieures et aspire l'air de ces couches de bas en haut.

---

## SÉANCE DU 18 JUIN 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Leroy, Médecin-major au 6e cuirassiers, au camp de Châlons.
Palaz, Docteur ès sciences, au Bureau international des Poids et Mesures, pavillon de Breteuil.

M. H. Pellat présente à la Société une photographie d'éclairs, obtenue pendant l'orage du 12 mai dernier, par M. Moussette.

Les images des éclairs ont l'apparence d'hélices à spires très rapprochées; M. Moussette pense que l'éclair a réellement une forme hélicoïdale. M. Pellat croit bon d'opposer à cette opinion une remarque qui a été faite par M. Mascart, quand il a vu cette photographie : c'est que les images des éclairs sont constituées, en réalité, par un grand nombre de petits traits parallèles entre eux, qui donnent l'illusion d'une hélice et qui doivent être dus simplement aux aberrations de l'objectif, les deux images qui se trouvent sur la photographie étant loin du centre du champ.

M. Moussette se propose, pour répondre à cette objection, de faire des photographies de l'étincelle électrique en disposant l'image au milieu du champ.

M. Ledeboer communique les résultats de ses recherches sur le coefficient de self-induction. La méthode employée est celle de Maxwell, avec cette différence, toutefois, que l'auteur se sert du galvanomètre apériodique Deprez-d'Arsonval, employé dans des conditions particulières. On donne à la résistance totale du circuit galvanométrique une valeur telle que le mouvement du cadre est apériodique, mais sur le point de devenir périodique; on peut alors employer la formule qui correspond au cas d'un galvanomètre périodique et sans amortissement, pourvu qu'on multiplie le résultat par le facteur *e*, base des logarithmes népériens.

A l'aide de cette méthode, l'auteur a pu vérifier la proportionnalité entre le champ magnétique produit par un électro-aimant et le produit du coefficient de self-induction par l'intensité du courant, c'est-à-dire la proportionnalité entre le champ magnétique et l'extra-courant. La vérification a porté sur des bobines avec ou sans noyau de fer et sur les inducteurs des machines dynamos du genre Gramme et Siemens. Dans tous ces cas, les variations de l'extra-courant permettent de prévoir les variations du champ magnétique produit.

Finalement, l'auteur a déterminé le coefficient de self-induction de l'anneau Gramme, avec et sans excitation des inducteurs. Les inducteurs étant fortement excités, le coefficient de self-induction de l'anneau diminue de moitié et il est indépendant du courant qui circule dans l'anneau.

Des courbes représentant l'ensemble des résultats obtenus ont été présentées aux membres de la Société.

M. Dufet présente un appareil destiné à mesurer l'angle des axes optiques pour les différentes couleurs du spectre. C'est un microscope polarisant dont l'appareil éclaireur est formé d'un spectroscope à vision directe. Les courbes isochromatiques se projettent sur le spectre, et, en faisant tourner le collimateur du spectroscope au moyen d'une vis micrométrique, on amène au centre du champ la couleur pour laquelle on veut mesurer l'angle des

axes. Le champ étant peu considérable, les mesures se font avec une approximation de 1'.

L'appareil se prête facilement à la mesure des indices par réflexion totale, en recevant dans le microscope polarisant réglé sur l'infini la lumière réfléchie sur la face hypoténuse d'un prisme de flint de 90° derrière lequel la lame cristalline est fixée avec interposition d'un liquide très réfringent. L'erreur est de 1 unité environ de la quatrième décimale.

M. le Dr Raphael Dubois présente une nouvelle machine qui permet de produire des mélanges titrés de liquides vaporisables et de gaz. Cette machine diffère de celle qu'il a primitivement présentée à l'Académie des Sciences et de laquelle M. Paul Bert se servait dans l'application de sa méthode anesthésique. Le volume d'air est mesuré au moyen d'une soufflerie reliée automatiquement à un appareil de dosage du liquide vaporisable, composé d'un piston élévateur qui, en s'enfonçant d'une quantité déterminée et variable, à la volonté de l'opérateur, dans un récipient, chasse de celui-ci une proportion connue du liquide qui y est contenu. Ce liquide est versé par un tube à nivellement dans un vase évaporatoire traversé par le courant du gaz ou de l'air qui pénètre dans la soufflerie. Le gaz mesuré par la capacité fixe de la soufflerie et mélangé à la vapeur du liquide volatilisé peut être ensuite conduit dans divers appareils, selon le but que l'on se propose d'atteindre.

La machine est légère, son volume est inférieur à celui d'un tambour d'infanterie et son maniement est d'une facilité élémentaire.

M. le Dr R. Dubois communique ensuite ses recherches sur la lumière des Pyrophores. La faculté de produire de la lumière est une des plus curieuses propriétés que possèdent les êtres vivants. On constate son existence non seulement chez beaucoup d'animaux terrestres et aquatiques, mais encore chez des végétaux; aussi, en Physiologie générale, pourrait-on lui donner le nom de *fonction photogénique*. D'après M. Raphaël Dubois, elle serait plus répandue qu'on ne le suppose généralement, mais c'est chez les Pyrophores, insectes coléoptères des tropiques, que l'on peut analyser le plus facilement les divers phénomènes d'où résulte l'émission de la lumière et le rôle physiologique des divers organes qui concourent à sa production. Dans un récent Travail intitulé *les Elatérides lumineux*, l'auteur a fait une étude approfondie du développement, de l'anatomie et de la physiologie de ces insectes. La partie expérimentale, jusqu'alors négligée, a reçu des développements importants. Un chapitre de ce Travail a été exclusivement consacré à l'étude des propriétés physiques de la lumière des Pyrophores. Cette lumière offre un ensemble de caractères qui lui donne sur nos foyers d'éclairage ordinaires une supériorité incontestable. Le spectre est continu sans bandes ni raies et presque entièrement composé de jaune et de vert. On sait que, dans la série animale, ce sont ces rayons qui conviennent le mieux à la vision. Les maxima de la courbe spectro-photométrique correspondent précisément aux longueurs d'onde qui donnent pour l'œil humain

le maximum d'intensité visuelle et d'intensité éclairante. Les rayons rouges et bleus sont en très petite quantité; on ne peut rien apercevoir au delà du bleu tendre. L'action photochimique sur les plaques au gélatino-bromure à photographie instantanée est très faible et très lente, relativement au pouvoir éclairant. Cependant, M. R. Dubois a pu présenter à la Société des clichés obtenus au moyen de cette lumière. Les piles thermo-électriques les plus sensibles ne dénotent que des quantités infinitésimales de chaleur rayonnée. Aucune manifestation électrique spéciale ne peut être constatée au sein des organes lumineux. La lumière des Pyrophores produit sur la rétine une impression particulière, analogue à celle que donnent les corps fluorescents, tels que l'esculine et le sulfate de quinine, ce qui s'explique par la présence dans le sang de ces insectes d'une substance jouissant des mêmes propriétés optiques, cette substance fluorescente devenant lumineuse quand on l'expose dans certaines régions du spectre situées dans l'ultra-violet : elle aurait pour rôle de transformer des rayons peu éclairants en rayons de longueurs d'onde moyennes. Les organes lumineux n'émettent pas de lumière polarisée, malgré la présence d'une quantité considérable de petits corpuscules biréfringents qui prennent naissance dans leur intérieur. De nombreuses considérations, relatives à l'action sur les corps fluorescents, sur la chlorophylle, sur la rétine, etc., etc., ne peuvent trouver leur place dans ce court exposé. En résumé, la supériorité de cette lumière sur celle qui est produite par les foyers artificiels est incontestable et l'énergie dépensée pour la produire est très faible, ce qui s'explique par la présence presque exclusive de rayons de longueurs d'onde moyennes dans le spectre et par la nature particulière de sa production. Le rôle des muscles, des nerfs, des trachées et du protoplasma lui-même des cellules au sein desquelles se produit la lumière n'est qu'accessoire. La fonction photogénique peut être réduite à un simple phénomène physico-chimique, analogue à celui qui transforme dans le foie le glycogène en sucre.

---

## *Sur un nouveau microscope polarisant;* par M. H. Dufet.

Les perfectionnements apportés dans ces dernières années au microscope polarisant ont eu surtout pour but de donner plus de champ à l'instrument; mais ces nouveaux appareils deviennent par là même peu propres à la mesure de l'angle des axes optiques. J'ai cherché à réaliser un instrument qui, tout en produisant avec une perfection suffisante et sur de petits fragments cristallins les courbes d'interférence, permettrait cependant de faire la mesure précise de l'angle des axes, et ceci pour les différentes couleurs du spectre.

L'appareil optique procède du dispositif adopté par M. Bertrand. La lame cristalline placée en G (*fig.* 1) reçoit un faisceau de lumière convergente polarisée en P. Les rayons traversant l'objectif H (objectif n° 3 de Nachet) viennent former à son foyer principal l'image réelle des courbes isochromatiques. Celles-ci sont examinées par un microscope composé de l'objectif I (n° 0 de Nachet) et de l'oculaire à réticule *r*; en A se trouve l'analyseur. On améliore beaucoup l'image par l'emploi d'objectifs de microscope, dont les surfaces focales principales sont très sensiblement planes, au lieu de lentilles simples.

Fig. 1.



La mise au point se fait par le déplacement de l'objectif I et se complète par le tirage de l'oculaire. On obtient ainsi des courbes isochromatiques parfaitement nettes et des hyperboles bien noires permettant un pointé rigoureux. Le champ est faible, il est vrai; mais, le grossissement total n'étant guère plus grand que 1, une rotation d'une minute de la plaque cristalline détermine un déplacement sensible des franges.

L'appareil servant à faire converger les rayons sur la plaque se compose d'un objectif de microscope E précédé d'un nicol. On l'éclaire avec de la lumière blanche ou une lumière monochromatique, telle que celle de la soude.

Pour opérer sur des rayons de réfrangibilité quelconque, on emploie un spectroscope à vision directe. Le collimateur B est mobile à l'aide d'une vis micrométrique V à tête munie d'un tambour divisé T. Après avoir traversé le prisme C et la lentille *l*, les rayons viennent former un spectre réel au foyer principal de l'objectif E; donc, lorsque le système oculaire est disposé de manière à voir nettement les franges, c'est-à-dire réglé sur l'infini, il voit nettement le spectre. Les franges isochromatiques se projettent donc sur le spectre, et, en faisant mouvoir la vis V, on

fait passer dans le champ les différentes couleurs. Une graduation préliminaire de la vis micrométrique, faite soit à l'aide de la lumière solaire, soit à l'aide de lumières de réfrangibilité connue, permet de savoir à quelle longueur d'onde correspond une division donnée du tambour. Les mesures se font ainsi d'une manière continue et pour une région de la plaque toujours la même. Une dispersion de quelques minutes dans les axes optiques, ne produisant sur les hyperboles que des colorations très incertaines, se mesure avec la plus grande facilité.

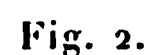
Pour la mesure des angles, l'appareil procède d'un appareil de M. Von Lang pour la mesure de l'angle des axes optiques. L'axe supportant la plaque cristalline se termine en haut par un cercle complet avec deux verniers à 180°, qui permettent par conséquent de réaliser un centrage satisfaisant. Dans l'appareil que j'ai fait construire, le cercle est divisé en $\frac{1}{3}$ de degré, et le vernier donne les 20″ : cette précision peut sembler exagérée, mais elle permet de se servir de l'appareil comme goniomètre de Wollaston. Quant au réglage de la plaque cristalline, celle-ci est saisie dans une pince et occupe le centre d'une coquille sphérique glissant sur une pièce de même forme supportée par la partie fixe de l'axe; on règle ainsi la plaque sans la faire sortir du champ. Deux mouvements rectangulaires permettent de placer sur l'axe de rotation le point de la plaque que l'on désire examiner.

La *fig.* 2 représente l'ensemble de l'instrument à l'échelle de $\frac{1}{5}$. Tout l'appareil tourne autour d'un axe vertical de manière à retrouver un éclairement convenable quand on a déplacé le collimateur. Une petite plate-forme permet de faire les mesures dans l'huile, ou de placer une étuve analogue à celles des microscopes de M. Des Cloizeaux ou de M. Bertrand. D'ailleurs ces dernières mesures sont très facilitées par la distance notable qu'on peut laisser entre les deux objectifs; on voit facilement en effet que la position la plus favorable pour le second objectif est l'anneau oculaire de la lunette astronomique formée par la lentille *l* et l'objectif E.

Il convient, pour l'usage de l'instrument, d'employer des plaques un peu épaisses, telles que celles qui sont destinées à la pince à tourmalines; dans ces conditions et avec des plaques bien

planes, l'angle des axes se mesure pour toutes les couleurs du spectre, à une minute près environ.

Cet appareil peut servir d'une façon très commode et suffisamment précise à la mesure des indices de réfraction par la méthode de la réflexion totale. On supprime pour cela l'appareil spectroscopique et l'on remplace la pince par une pince à prismes, représentée à côté de l'appareil dans la *fig.* 2, à une échelle un peu


Fig. 2.



plus grande (moitié grandeur). Elle se compose de deux prismes de 90° en flint très réfringent ($n_D = 1,767$) : l'un est fixe; l'autre, porté par la branche mobile de la pince, peut basculer autour d'un axe horizontal, de sorte que sous l'action du ressort une lame à faces parallèles est toujours saisie exactement par les deux prismes, quelle que soit son épaisseur; on interpose entre la

lame et le prisme fixe un liquide de mouillage plus réfringent que la lame (naphtaline bromée, par exemple).

Se plaçant alors en face d'une source monochromatique, comme la lumière de la soude diffusée par un verre dépoli, on fait tourner l'appareil entier et le prisme seul jusqu'à ce que la lumière, réfléchie sur la face hypoténuse et reçue dans la lunette, le soit sous l'incidence correspondant à la réflexion totale. Recommençant la mesure de l'autre côté, l'angle dont le prisme s'est déplacé par rapport au cercle permet facilement de calculer l'indice. Ceci suppose que le prisme soit bien réglé, ce qui peut se faire à l'aide d'une mire éloignée que l'on vise par réflexion sur les faces du prisme. On évitera un réglage trop méticuleux en faisant une mesure comparative avec une lame de quartz perpendiculaire à l'axe et une lame de fluorine dont les indices sont bien connus. Quand la plaque est bien plane, la limite des rayons réfléchis totalement est assez nette pour pouvoir se pointer à 1′ environ; or, une variation de 1′ dans l'angle correspond à une variation de l'indice de 0,000065 pour le quartz et 0,000082 pour la fluorine. On voit qu'avec de bonnes plaques on peut répondre du résultat, à 1 ou 2 unités près du quatrième ordre décimal. Avec l'angle que j'ai adopté pour mes prismes, on peut aller difficilement au delà de l'indice extraordinaire du quartz; ceci suffit pour les sels cristallisés, dont l'étude m'intéressait spécialement. Il serait facile d'ailleurs, en modifiant l'angle des prismes, d'employer la méthode jusqu'à la limite où la réflexion totale cesse d'être applicable ($n = 1,7$). Ce dernier emploi de l'instrument procède de la méthode instituée par M. Bertrand pour la mesure des indices (¹).

De même que la lentille demi-boule de M. Bertrand lui permet de mesurer l'angle intérieur des axes optiques quand les rayons ne sortent plus dans l'air, de même on peut se servir, dans ce cas, de la pince à prismes avec interposition d'un liquide convenable. Ce procédé est bien supérieur à l'emploi du bain d'huile dont la température n'est jamais connue exactement, malgré les variations considérables qu'un changement de température introduit, dans ce cas, dans l'angle apparent des axes optiques.

---

(¹) *Journal de Physique*, 2ᵉ série, t. V, p. 223.

Enfin, l'appareil que j'ai fait construire peut servir très facilement de goniomètre de Wollaston; le microscope dont il est muni, les mouvements variés de l'axe supportant le cristal en permettent le réglage parfait. Le pointé se fait soit à l'œil comme dans le goniomètre de Wollaston, soit à l'aide de la lunette visant sur l'infini constituée par le microscope à double objectif; l'exactitude est à peu près la même dans les deux cas.

L'appareil a été construit avec beaucoup de soin par M. Ducretet.

---

## SÉANCE DU 2 JUILLET 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 juin est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. DE GROOT (le R. P. L.-Th.), à Louvain (Belgique).

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL présente, de la part de M. Bandsept, ingénieur à Bruxelles, une Note sur un nouveau brûleur à gaz qu'il appelle *bec tourbillon* et qui donnerait un pouvoir éclairant sensiblement double de celui des becs ordinaires (2 carcels pour $130^{\text{lit}}$). Pour cela, l'auteur ralentit sans choc ni frottement la vitesse ascensionnelle des gaz chauds, en imprimant à la nappe incandescente un mouvement tournant qui s'arrête à la partie brillante.

M. ALBERT NODON présente un nouvel hygromètre dont le principe est analogue à celui du thermomètre métallique de Bréguet. L'organe essentiel consiste en une spirale en papier recouverte extérieurement d'une couche de gélatine rendue inaltérable par l'acide salicylique.

On constate que, lorsque l'air devient humide, la gélatine se dilate et la spirale s'enroule. Quand l'air devient sec, la gélatine se contracte et la spirale se déroule.

*Hygromètre à cadran.* — En maintenant fixe l'une des extrémités de la spirale, et en adaptant l'autre à une aiguille mobile sur un cadran divisé, on obtient un hygromètre à cadran analogue extérieurement aux baromètres anéroïdes.

*Hygromètre enregistreur.* — En transformant les mouvements de rotation dus aux enroulements de l'hélice en mouvements de translation trans-

mis à un style mobile sur une feuille de papier se déroulant de $0^m,02$ à l'heure, on obtient une courbe représentative des états hygrométriques de l'air.

*Graduation.* — On gradue cet hygromètre, en le disposant dans une enceinte dont on détermine les états hygrométriques variables à l'aide d'un hygromètre d'Alluard. On y fait, en outre, varier la température à l'aide d'un bain de sable modérément chauffé.

*Résultats.* — On trouve :
1° Que les angles dont s'enroule la spirale sont proportionnels aux états hygrométriques;
2° Qu'entre 10° et 35° C., la température ne trouble pas les indications de l'hygromètre;
3° Que la constance de l'appareil est absolue;
4° Qu'en une minute de temps l'hygromètre se met en équilibre hygroscopique avec l'air ambiant;
5° Que sa sensibilité peut être rendue aussi grande qu'on le veut par l'accroissement proportionnel du nombre des spires de l'hélice.

M. Bouty a repris l'étude de la conductibilité électrique des sels en dissolution étendue, qui l'avait déjà occupé il y a deux ans, et dont il avait communiqué, à cette époque, les principaux résultats à la Société de Physique.

**1.** Ses recherches actuelles ont eu d'abord pour objet la mesure absolue de la conductibilité électrique des dissolutions de chlorure de potassium. Un tube capillaire enroulé en spirale et terminé par de larges entonnoirs a été successivement rempli de mercure pur à 0° et d'une dissolution normale de chlorure de potassium, contenant $74^{gr},59$ de sel par litre et refroidie à 0°. Le rapport des résistances du chlorure de potassium et du mercure s'est trouvé égal à $1,634.10^5$, d'où l'on déduit, pour la résistance spécifique C.G.S. en ohms légaux de la dissolution normale de chlorure de potassium, une valeur de $15^{ohms},415$.
Une série de comparaisons des résistances de dissolutions de chlorure de potassium de diverses concentrations effectuées entre 0° et 20° par la méthode électrométrique établit que la conductibilité moléculaire du chlorure de potassium dissous à la température de 0° varie à peine pour des liqueurs contenant de $3^{éq}$ à $0^{éq},5$ de sel par litre. Pour des dilutions plus grandes, la conductibilité moléculaire croît légèrement et paraît tendre vers une valeur supérieure de $\frac{1}{4}$ à celle de la dissolution normale. Le coefficient de variation de la résistance avec la température croît avec la dilution et, à partir de liqueurs contenant moins de $0^{éq},1$ par litre, a une valeur fixe de $\frac{1}{30}$.

**2.** L'étude de la conductibilité de divers sels normaux, anhydres ou hydratés, montre qu'à partir d'une certaine dilution, parfois assez médiocre,

le coefficient de variation de la résistance avec la température se confond sensiblement avec la valeur limite $\frac{1}{30}$. Pour ces dissolutions moyennement concentrées, la loi d'équivalents, énoncée par M. Bouty, n'est pas encore applicable; mais, si l'on compare les résistances de diverses dissolutions d'un même sel aux résistances de solutions de chlorure de potassium de même concentration atomique M, on reconnaît que le rapport $R_0$ est de la forme

$$R_0 = 1 + A m^{\frac{1}{3}},$$

c'est-à-dire que l'excès de ce rapport sur l'unité varie proportionnellement à la puissance $\frac{1}{3}$ du poids de sel dissous, ou en raison inverse de la distance moyenne des molécules salines. D'un sel à un autre, le coefficient A varie largement; pour le sulfate de zinc, $A = 2{,}959$, tandis que pour le nitrate de potasse, $A = 0{,}240$; mais à la limite, pour $m = 0$, le rapport R est égal à 1, c'est-à-dire que *la loi d'équivalents est rigoureusement applicable.*

3. On peut attribuer la variation de la conductibilité moléculaire d'un sel avec la dilution, soit à une action propre exercée par les molécules salines sur les molécules de même espèce et qui aurait pour effet de gêner le mouvement électrolytique, soit à une action de l'eau sur la molécule saline, d'où résulte une dissociation progressive. L'étude de la conductibilité des mélanges salins est favorable à cette dernière hypothèse. Si l'on se borne à considérer des sels neutres de même acide ou de même base, sans action chimique connue l'un sur l'autre, et si on compare la conductibilité de ces sels ou de leurs mélanges, sous la condition expresse que la quantité d'eau soit toujours la même pour un même nombre total de molécules salines, on trouve que la conductibilité du mélange est égale à la somme des conductibilités des éléments salins qu'il contient. Le courant se dérive entre les molécules salines d'espèce différente comme entre des fils métalliques parallèles, ce qui semble exclure toute action propre des molécules les unes sur les autres. Mais si l'on vient à changer la quantité d'eau, cette loi ne s'applique plus; il y a donc une action de l'eau sur les molécules salines, dont le terme est de les amener toutes à un état où elles possèdent toutes les mêmes conductibilités.

4. Quand on mêle deux sels d'acide et de base différents, on sait que les quatre sels résultant de l'union de chaque acide à chaque base existent simultanément dans la liqueur; mais l'usage du calorimètre est souvent insuffisant, soit pour constater la double décomposition, soit surtout pour fixer la proportion dans laquelle elle s'exerce. L'électromètre permettra souvent de combler cette lacune; en particulier quand on mêlera un sel alcalin et un sel dit *métallique*. Pour des mélanges à équivalents égaux de sulfate de zinc et de nitrate de potasse d'une part, de nitrate de zinc et de sulfate de potasse, d'autre part, on trouve des conductibilités identiques, intermédiaires à celles que l'on calculerait par la loi des dérivations. Pour le premier

mélange et pour une concentration $m = 0,5$, on devrait trouver $R_0 = 1,754$, et pour le second 1,416; on a trouvé 1,648 et 1,643. Il en résulte que les quatre sels existent à la fois et que la proportion $x$ du deuxième groupe est $x = 0,276$.

M. Le Chatelier fait observer que les sels de zinc sont tous plus ou moins décomposables par l'eau; M. Bouty reconnaît que l'eau exerce sur les sels de zinc une action beaucoup plus marquée que sur les sels alcalins; mais, au point de vue de la conductibilité, cette action de l'eau n'a pas pour effet de compliquer les phénomènes, bien au contraire : les molécules de sulfate de zinc et de chlorure de potassium qui ne sauraient être comparées en dissolution concentrée tendent vers un état limite comparable quand on augmente indéfiniment la quantité du dissolvant, puisqu'elles possèdent à la limite la même conductibilité.

M. Mascart communique à la Société quelques remarques sur la Photométrie.

La comparaison des intensités de deux sources de lumière a été l'objet de nombreux travaux, mais on rencontre souvent dans la pratique un problème de nature un peu différente, celui de l'éclairage lui-même. Dans ce cas, on doit faire intervenir toutes les circonstances extérieures, telles que la diffusion des murs et des plafonds, qui modifie dans de grandes proportions les effets directement produits par les sources.

Il n'est pas impossible d'obtenir un photomètre absolu. Sans avoir recours à la photographie, les propriétés physiologiques de l'œil fournissent déjà des mesures très approximatives. Notre collègue, M. Javal, a constaté, par exemple, que sur une page d'imprimerie éclairée à la distance de $1^m$ par une bougie, une très bonne vue peut lire le caractère du type 7 à la distance de $0^m,70$, les caractères du type 8 à $0^m,80$, et ainsi de suite. La distance maximum à laquelle un observateur donné peut lire des caractères de type déterminé fournit donc une mesure de l'éclairage. Cette sensibilité photométrique de l'œil augmente même avec l'âge, à mesure que la faculté d'accommodation s'affaiblit. Une question analogue se présente en matière criminelle, dans la distinction du jour et de la nuit. On a dû fixer cette limite par le moment où le soleil se trouve à une certaine distance au-dessous de l'horizon; il paraît même que les Juifs s'en étaient préoccupés et le Talmud renferme un certain nombre de règles, pour définir le commencement du jour, par les couleurs dont on peut saisir la différence, ou les objets de formes semblables que l'on peut distinguer.

La distribution de l'éclairage dans une salle, dans les écoles par exemple, présente un grand intérêt pour l'hygiène de la vue. Entre autres méthodes, M. Javal a proposé d'employer un carton percé d'un certain nombre de trous circulaires entourés de cercles gris plus ou moins foncés. Le carton étant placé dans une position invariable, on vise, à travers des ouvertures, les différentes parties de la salle, et l'on détermine chaque fois celui des cercles dont l'éclat paraît égal à celui du point observé.

Avec un objet éclairé par un verre artificiel dont on ferait varier l'intensité à volonté, on peut comparer deux points d'une même salle ou de deux salles différentes et connaître l'éclairage en valeur absolue. L'appareil employé par M. Mascart, construit sur ses indications par MM. Duboscq et Pellin, se compose d'une lame de verre dépoli éclairée par une lampe à pétrole munie d'une lentille de champ.

Une seconde lentille donne une image de cette lame sur une feuille de papier munie d'une tache d'huile, comme dans le photomètre de Bunsen. Les rayons qui proviennent de la lentille de projection tombent d'abord sur un miroir à 45° qui les réfléchit latéralement. En faisant tourner l'ensemble du miroir et de l'écran, on amène ce dernier dans un plan quelconque sur lequel on veut mesurer la lumière émise par l'éclairage extérieur. Enfin un double volet placé devant la lentille de projection et mobile par une vis permet d'augmenter peu à peu, à partir de zéro, la lumière fournie par la lampe, jusqu'à ce que la tache d'huile, d'abord sombre, cesse d'être aperçue sur l'écran par un observateur qui vise à 45° de la normale. L'appareil se règle par comparaison avec une lampe Carcel.

Cette méthode a été employée, par exemple, pour mesurer l'éclairage produit dans différentes parties de la salle, du foyer et de la scène de l'Opéra. On a constaté qu'avec les lampes à incandescence installées depuis quelque temps, l'éclairage du foyer en un point quelconque équivaut à peu près à celui que fourniraient six lampes Carcel à $1^m$ de distance. Il paraît d'autant plus nécessaire de fixer ainsi par des mesures absolues l'éclairage obtenu par des sources artificielles que l'on s'habitue de plus en plus aux éclairages intenses, surtout depuis l'emploi de la lumière électrique, et que le simple jugement de l'œil, sans aucun contrôle, peut donner des évaluations très erronées.

M. Gariel rappelle que M. Bertin a autrefois imaginé, pour la mesure de l'éclairement, un photomètre consistant en une tige dont l'ombre est projetée sur un papier blanc. On mesure la distance à laquelle il faut placer une lampe Carcel pour que l'ombre qu'elle produit disparaisse.

M. Gariel a lui-même construit un photomètre analogue à celui de M. Mascart et en a obtenu d'excellents résultats.

---

## *Hygromètre;* par M. A. Nodon.

La *gélatine* est une substance douée de propriétés hygroscopiques fort curieuses. Chacun sait que, plongée dans l'eau, elle augmente beaucoup de volume; mais ce qu'on a moins remarqué, c'est qu'abandonnée dans l'air elle en absorbe l'humidité en se

dilatant; de telle sorte que, si l'état hygrométrique de l'air vient à être modifié, la gélatine subit une variation de volume *proportionnelle*. J'ai pu constater, en outre, que le phénomène restait absolument constant pour toutes les températures comprises entre 10° et 35°C.

La gélatine peut, du reste, être rendue complètement inaltérable par l'addition d'une petite quantité d'acide salicylique, sans que pour cela ses remarquables propriétés hygroscopiques soient modifiées.

Voici de quelle façon j'ai pu utiliser cette propriété de la gélatine à la construction d'un nouvel *hygromètre*.

*Principe.* — Je recouvre d'une couche de gélatine une *hélice* en bristol, dont j'ai garanti la partie interne à l'aide d'un vernis non hygroscopique, tel que le bitume de Judée. J'obtiens ainsi un ensemble déformable sous les variations de l'état hygrométrique de l'atmosphère, analogue quant au fonctionnement à l'hélice du thermomètre métallique de Bréguet. Quand le degré hygrométrique augmente, la gélatine se dilate et la spirale s'enroule sur elle-même. Quand l'air se dessèche, la gélatine se contracte et la spirale se déroule ([1]).

*Hygromètre enregistreur.* — Le modèle d'hygromètre enregistreur, que j'ai l'honneur de présenter à la Société, se compose de quatre hélices en papier-gélatine, groupées par paires sur un même socle. L'une des extrémités de chacune des hélices est maintenue fixe au moyen d'une pince, tandis que l'extrémité libre agit directement sur une poulie légère. Ces quatre spirales constituent un ensemble solidaire dont les actions métalliques s'ajoutent. Sur les deux poulies, disposées suivant une même verticale, s'enroule un fil de soie. A ce fil est attaché un

---

([1]) On obtient du reste des résultats analogues avec d'autres substances hygroscopiques, telles que la gomme adragante, la gomme arabique, la dextrine, etc., qu'on peut déposer en couches minces sur un support quelconque autre que le papier, tel, par exemple, que le celluloïd, l'ébonite, etc. Mais, entre tous ces bilames, j'ai pu constater que celui formé par la gélatine et le papier fournissait les meilleurs résultats. Aussi me suis-je arrêté à ce dernier type, dont la construction est d'ailleurs des plus simples.



petit curseur très léger, mobile entre deux guides. C'est sur ce curseur qu'est disposé le style graveur. Le tout a été équilibré au moyen d'un léger contrepoids sur le brin postérieur du fil.

On possède ainsi un ensemble mobile dans le sens vertical et pouvant obéir aux moindres mouvements d'enroulement ou de déroulement des hélices.

Le style vient s'appuyer contre une bande de papier divisé, se déroulant sur un premier rouleau pour s'enrouler sur un second, entraîné lui-même d'un mouvement lent de rotation de $2^{cm}$ à l'heure à la circonférence.

La bande de papier s'avance dans une direction normale au mouvement du style et de ces deux mouvements combinés résulte une courbe, tracée à l'encre par le style, et représentative des états hygrométriques de l'air.

En faisant choix d'un papier divisé suffisamment mince, on peut facilement en enrouler une longueur assez grande pour permettre à l'appareil de fonctionner pendant dix jours consécutifs et l'on peut admettre que les longueurs de la bande de papier, déroulées pendant l'espace d'une heure, sont toujours les mêmes.

Le mouvement d'horlogerie actionnant le rouleau est enfermé dans le socle de l'appareil.

La feuille de papier, les rouleaux et le style sont mis à l'abri derrière une glace transparente qu'on peut ouvrir à volonté.

Les quatre hélices baignent librement dans l'atmosphère ambiante et peuvent, du reste, être protégées contre les chocs, la pluie, le soleil, etc., au moyen de toiles métalliques ou d'étuis perforés de trous sur toute leur surface, de façon à permettre à l'air de circuler librement autour des spirales.

*Graduation.* — Pour graduer cet hydromètre, l'instrument est disposé dans une caisse close, fermée sur sa face antérieure par une glace transparente et mobile. On dispose une cuvette contenant de l'eau et de l'acide sulfurique dans le fond de l'enceinte, et l'on suspend à l'intérieur de cette enceinte un hygromètre d'Alluard et un thermomètre. Lorsque, après quelques heures, l'état hygrométrique est devenu parfaitement uniforme dans l'enceinte, on en détermine le degré hygrométrique exact

avec l'hygromètre d'Alluard. On note la température et on lit le degré correspondant indiqué par l'hygromètre à graduer. On renouvelle la même série d'observations en augmentant progressivement le degré hygrométrique de l'enceinte; à cet effet, on ajoute de temps en temps un peu d'eau à la solution sulfurique. Enfin, on fait une dernière série d'observations à des températures différentes, obtenues au moyen du bain de sable qu'on chauffe modérément.

Cela fait, je construis une courbe en prenant pour abscisses les états hygrométriques de l'enceinte, et pour ordonnées les valeurs correspondantes données par l'hygromètre à graduer. Je constate que c'est une *droite* et que cette droite est invariable pour toutes les températures observées entre 10° et 35°C.

Ce résultat indique que les enroulements des hélices sont proportionnels aux états hygrométriques et indépendants de la température, au moins dans les limites où j'ai observé le phénomène.

Rien n'est plus simple alors que de graduer l'instrument, de façon que chacune des divisions de la graduation corresponde à 1° hygrométrique (o étant la sécheresse absolue et 106° l'humidité absolue).

Il suffit de déterminer exactement les états hygrométriques correspondant à deux positions quelconques du style et de diviser l'espace compris entre ces deux points en quantités proportionnelles aux états hygrométriques et égales entre elles.

*Résultats.* — Voici, du reste, les résultats que j'ai pu déduire à la suite de nombreuses observations :

1° Les angles dont s'enroulent les spirales sont proportionnels aux états hygrométriques de l'air.

2° La température entre les limites de 10° à 35° C. est sans influence sensible sur les indications de l'hygromètre.

3° L'instrument paraît rester constant dans ses indications.

4° Il se met en quelques instants en équilibre hygroscopique avec l'atmosphère ambiante.

5° La sensibilité est proportionnelle au nombre des spires de l'hélice et peut être rendue aussi grande qu'on le désire.

L'hélice en papier-gélatine jouit en effet de cette propriété cu-

rieuse de se mettre presque instantanément en équilibre hygroscopique avec l'atmosphère ambiante; de telle façon que, si l'on augmente brusquement l'humidité de l'air en approchant simplement de l'hélice la main légèrement moite, on voit aussitôt le style se déplacer rapidement, s'arrêter à une position fixe et revenir aussitôt à sa station primitive dès que la main a été éloignée.

*Hygromètre à cadran.* — M. Ducretet a construit, d'après mes indications, un modèle d'hygromètre à cadran, d'un emploi commode et d'une construction très simple. On fixe l'extrémité extérieure d'une spirale plate en papier-gélatine à l'intérieur d'une petite boîte ronde en métal et l'on fixe l'extrémité interne à une aiguille mobile sur un cadran divisé. Par son aspect extérieur, l'instrument rappelle les baromètres anéroïdes.

J'avais déjà eu occasion d'en construire un modèle analogue au mois d'avril 1885. Je l'avais abandonné jusqu'en juin 1886 dans un laboratoire. Je contrôlai à cette époque ses indications avec celles d'un hygromètre d'Alluard, et je pus constater qu'elles étaient restées parfaitement constantes.

La spirale n'avait donc subi, pendant cet espace de temps, aucune altération dans ses propriétés hygroscopiques.

Dans un autre modèle muni d'une hélice à spires très nombreuses, la sensibilité était telle que les variations continuelles de l'état hygrométrique de l'air suffisaient pour maintenir l'aiguille dans un état permanent d'agitation.

---

## *Sur la conductibilité électrique des dissolutions salines de concentration moyenne;* par M. E. Bouty.

Dans un Mémoire publié il y a deux ans [1], j'ai énoncé une loi nouvelle relativement à la conductibilité des dissolutions salines très étendues. Par son importance philosophique, aussi bien que par les discussions qu'elle a soulevées à l'étranger, cette loi méritait d'être à nouveau l'objet d'une étude approfondie. Une multitude de questions de fait ou de méthode s'y rattachent intimement, et appelaient aussi des recherches complémentaires. Ce travail a pour objet de combler, au moins en partie, ces lacunes.

Dès 1878, M. R. Lenz [2], dans un Mémoire dont je n'avais pas eu connaissance, étudiait la conductibilité électrique des sels alcalins en dissolution très étendue. Il était amené à conclure que l'influence de l'anion s'efface peu à peu à mesure que la dilution augmente, et que celle du cation subsiste seule. Ainsi tous les sels de potasse auraient, en dissolution très étendue, la même conductibilité moléculaire; mais les sels de soude auraient une conductibilité différente.

En 1884, MM. Arrhenius [3] et Ostwald [4] étaient aussi conduits, indépendamment de mes recherches, à étudier la conductibilité des sels ou des acides à un état de dilution extrême. La publication de leurs Mémoires coïncide à peu près avec celle de mes dernières Notes à l'Institut.

M. Vicentini [5], voulant essayer d'étendre aux solutions alcooliques la loi d'équivalents que je venais de proposer et n'y ayant pas réussi, a consacré deux Mémoires à l'étude des dissolutions aqueuses très étendues.

Enfin M. F. Kohlrausch a publié un important Mémoire que j'ai

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. III, p. 433, 1884; *Séances de la Société de Physique*, année 1884, p. 52.

(2) R. Lenz, *Mém. de l'Acad. de Saint-Pétersbourg*, t. XVII; 1878.

(3) Arrhenius, *Bihang Svenska Vet. Akad. Handl.*, t. VIII; 1884.

(4) Ostwald, *Journal für prakt. Chemie*, t. XXX; 1884.

(5) Vicentini, *Atti Venet.* [2], t. II, 1884; *Atti di Torino*, t. XX; 1885.

analysé ailleurs ([1]) et dont la discussion se mêlera intimement à celle de mes nouvelles expériences.

Tous ces travaux ont été réalisés exclusivement par la méthode des courants alternatifs. Il était avant tout indispensable de savoir si les résultats ainsi obtenus sont ou non comparables à ceux que donne la méthode électrométrique que j'ai moi-même employée. Tel a été l'objet d'une étude que nous avons entreprise, M. Foussereau et moi ([2]), et dont la principale conséquence est que cette méthode, parfaitement légitime tant qu'on n'opère qu'avec de faibles résistances et des dissolutions concentrées, peut conduire à des résultats tout à fait inexacts dans le cas où le circuit contient des résistances métalliques considérables; elle devient presque absolument illusoire pour les dissolutions extrêmement étendues.

Mais il ne suffisait pas d'avoir montré le vice de la méthode, il était encore indispensable de discuter en eux-mêmes les résultats des mesures, et les conséquences qu'on est légitimement en droit d'en tirer. Pour comparer de plus près les résultats de M. Kohlrausch aux miens et pour étendre mes recherches aux solutions de concentration moyenne, je devais d'abord faire une étude spéciale de la conductibilité du chlorure de potassium que j'ai toujours adopté pour terme de comparaison.

Je devais, en second lieu, rechercher si la loi d'équivalents que j'ai énoncée est seulement une loi approchée (comme, par exemple, la loi de Dulong et Petit relative aux capacités calorifiques des corps solides), ou si elle doit être considérée comme une loi limite rigoureuse (analogue à la loi de Mariotte pour la compressibilité des gaz).

Enfin la nécessité de discuter les résultats d'expériences relatives à des dilutions excessives, où les impuretés de l'eau distillée ont pu jouer un rôle prépondérant, m'a conduit à l'étude de la conductibilité des mélanges salins en général. Ce Mémoire se divisera donc en trois Parties, relatives au chlorure de potassium, à la loi d'équivalents et aux mélanges.

---

([1]) F. Kohlrausch, *Ann. der Physik und Chemie*, t. XXVI, p. 161, 1885; *Journal de Physique*, 2e série, t. V, p. 427.

([2]) *Séances de la Société de Physique*, année 1885, p. 97.

## CHAPITRE I.

### SUR LA CONDUCTIBILITÉ DU CHLORURE DE POTASSIUM DISSOUS.

La méthode électromagnétique, comme la plupart des méthodes de mesure, comporte une erreur relative d'autant moindre que les quantités à comparer ont un rapport plus voisin de l'unité. C'est pourquoi, dans mes recherches de 1884, j'ai toujours comparé la conductibilité des dissolutions salines à la conductibilité des dissolutions du chlorure de potassium contenant le même poids de sel dissous, afin de n'avoir jamais affaire qu'à des résistances du même ordre de grandeur. Ces recherches m'ayant conduit à reconnaître que la conductibilité moléculaire de tous les sels normaux est la même en dissolution très étendue, il y avait intérêt à ne comparer désormais entre elles que des dissolutions de même concentration moléculaire; c'est pourquoi, renonçant dans mon travail actuel aux liqueurs d'une concentration en poids égale, j'ai eu recours à des dissolutions contenant un nombre exact $n$ d'équivalents de sel en grammes par litre de la dissolution.

J'ai d'abord déterminé en valeur absolue la résistance spécifique d'une dissolution normale de chlorure de potassium, contenant $74^{gr},59$ de sel ($1^{éq}$, $m = 1$) par litre. Ensuite, et par une double série de mesures relatives, j'ai comparé cette résistance à celles d'autres dissolutions contenant de $3^{éq}$ à $0^{éq},001$ de sel par litre, et à des températures comprises entre $0°$ et $30°$.

*Mesure absolue.* — Un tube capillaire enroulé en spirale et terminé par deux larges entonnoirs est successivement rempli de mercure pur à zéro et de la dissolution normale de chlorure de potassium. On mesure la résistance du mercure par la méthode du pont de Wheatstone, à l'aide d'un galvanomètre de Thomson à double bobine d'une extrême sensibilité et d'une boîte à pont de M. Carpentier dans laquelle on introduit entre les branches fixes un rapport égal à 100. De très gros fils de cuivre plongent dans les entonnoirs, et les communications sont attachées de telle sorte que la résistance du mercure forme *seule* la quatrième branche du pont; sa valeur à $0°$ est voisine de $1^{ohm},2$. On mesure ensuite la résistance du chlorure de potassium, par la

méthode électrométrique, à une série de températures comprises entre 0° et 30°, et en prenant comme terme de comparaison des résistances métalliques étalonnées en ohms légaux. Les résistances liquides ainsi mesurées sont comprises entre 200000^ohms et 100000^ohms. De l'ensemble des mesures on déduit : 1° le rapport $R_0$ des résistances de deux colonnes égales de la dissolution normale de chlorure de potassium et de mercure à 0°; 2° le coefficient moyen de variation de la résistance de la dissolution normale avec la température. Posant

$$R_t = \frac{R_0}{1 + \alpha t},$$

on trouve ainsi $\alpha = 0,0291$ et $R_0 = 1,634.10^5$. Il en résulte que la résistance spécifique C.G.S. de la dissolution normale, évaluée en ohms légaux, est de

$$15^{\text{ohms}},415.$$

Eu égard à l'extrême inégalité des grandeurs à comparer, cette valeur peut être erronée de $\frac{1}{100}$ au plus, par excès ou par défaut.

*Mesures relatives. Étude de la méthode de Paalzow.* — Les mesures relatives ont toutes été exécutées par la méthode électrométrique. Mais auparavant j'ai voulu me rendre compte du degré d'exactitude dont les autres méthodes sont susceptibles; je n'avais pas à revenir sur la méthode des courants alternatifs : il restait la méthode de Paalzow, consistant à éliminer la polarisation des électrodes par l'emploi d'électrodes de zinc plongeant dans une solution concentrée de sulfate de zinc.

Pour étudier cette méthode, j'ai intercalé la résistance à mesurer entre deux vases poreux pleins du même liquide et placés dans de grands bocaux contenant du sulfate de zinc. Ceux-ci communiquaient par des siphons avec d'autres vases contenant les électrodes de zinc amalgamé, plongés aussi dans le sulfate de zinc. Une première mesure à l'aide d'un pont de Wheatstone à branches inégales donnait la résistance totale du système ainsi formé; on excluait la résistance liquide capillaire en réunissant les vases poreux par un très gros siphon, le plus court possible, et l'on procédait à une seconde mesure. La résistance capillaire s'obtenait par différence.

J'ai pu me convaincre, par des mesures comparatives effectuées par cette méthode et par la méthode électrométrique, que la polarisation est complètement éliminée quand on s'astreint à conserver à la branche du circuit contenant l'électrolyte une résistance minimum d'une dizaine de mille ohms. La méthode de Paalzow offre alors, par rapport à la méthode électrométrique, l'avantage d'une plus grande rapidité dans les mesures; mais on est vite arrêté par le défaut de sensibilité des galvanomètres. Quand la résistance principale atteint un mégohm, il me paraît impossible de répondre des résultats à $\frac{1}{10}$ près, tandis que les mesures électrométriques comportent au plus une erreur de $\frac{1}{200}$ pour des résistances 10 ou 100 fois plus fortes.

Pour les mesures définitives, j'ai donc eu recours exclusivement à la méthode électrométrique. La principale difficulté consiste dans l'évaluation exacte des températures, une variation de 0°,1 entraînant en général une variation de la résistance de 0,003, la plus légère erreur thermométrique altère notablement les résultats. Il est donc indispensable de maintenir les tubes capillaires contenant les résistances liquides dans des bains d'assez grand volume pour que la variation de température : pendant la durée d'une mesure, puisse être négligée, et d'employer des thermomètres donnant le dixième de degré.

*Résultats.* — Entre 0° et 30° la résistance des dissolutions de chlorure de potassium s'exprime, avec une exactitude suffisante. par la formule

$$R_t = \frac{R_0}{1+\alpha t}. \tag{1}$$

Le Tableau suivant donne les valeurs absolues de la résistance spécifique $R_0$ et les valeurs relatives de la résistance moléculaire $P_0$ rapportée à celle de la dissolution normale, ainsi que les valeurs de $\alpha$ :

| Nombre $m$ d'équivalents. | $R_0$. | $P_0$. | $\alpha$. |
|---|---|---|---|
| 3,0 ....... | 5,172 | 1,007 | 0,0230 |
| 2,0 ....... | 7,785 | 1,010 | 0,0259 |
| 1,0 ....... | 15,415 | 1,000 | 0,0291 |
| 0,5 ....... | 30,49 | 0,989 | 0,0302 |
| 0,2 ....... | 72,23 | 0,937 | 0,0326 |
| 0,1 ....... | 141,0 | 0,915 | 0,0327 |
| 0,01 ...... | 1325,0 | 0,860 | 0,0333 |
| 0,001 ..... | 12697,0 | 0,824 | 0,0333 |

On remarquera que, entre $3^{éq}$ et $0^{éq},5$, la conductibilité moléculaire à $0°$, $P_0$ varie à peine du $\frac{1}{100}$ de sa valeur, tandis que $\alpha$ croît rapidement. Au contraire, dans les dissolutions étendues, $\alpha$ demeure très sensiblement constant et la conductibilité moléculaire décroît d'une manière assez marquée. Pour des valeurs de $m < 0,5$ on a très sensiblement

$$(2)\qquad P_0 = 0,8\left(1 + 0,2976\, m^{\frac{1}{3}}\right),$$

| $m$. | $P_0$ observé. | $P_0$ calculé. | Différence. |
|---|---|---|---|
| 0,5 ....... | 0,989 | 0,989 | 0,000 |
| 0,2 ....... | 0,937 | 0,939 | +0,002 |
| 0,1 ....... | 0,915 | 0,910 | —0,005 |
| 0,01 ...... | 0,860 | 0,851 | —0,009 |
| 0,001 ..... | 0,824 | 0,824 | 0,000 |

et, par conséquent, on peut admettre que la limite vers laquelle tend $P_0$ est égale à $0,8$; c'est-à-dire que la résistance moléculaire du chlorure de potassium indéfiniment dilué est réduite aux $\frac{4}{5}$ de celle de la liqueur normale.

Si l'on veut calculer la résistance spécifique d'une dissolution quelconque de chlorure de potassium, il faut encore connaître la loi de variation de $\alpha$. On peut admettre, pour toutes les dilutions étudiées, la formule

$$(3)\qquad \alpha = 0,00333\left(1 - 0,452\, m^{\frac{3}{4}}\right).$$

| $m$. | $\alpha$ observé. | $\alpha$ calculé. | Différence. |
|---|---|---|---|
| 3,0 ....... | 0,0230 | 0,0230 | 0,0000 |
| 2,0 ....... | 0,0259 | 0,0257 | —0,0002 |
| 1,0 ....... | 0,0291 | 0,0288 | —0,0003 |
| 0,5 ....... | 0,0302 | 0,0306 | +0,0004 |
| 0,2 ....... | 0,0326 | 0,0319 | —0,0007 |
| 0,1 ....... | 0,0327 | 0,0325 | —0,0002 |
| 0,01 ...... | 0,0333 | 0,0332 | —0,0001 |
| 0,001 ..... | 0,0333 | 0,0333 | 0,0000 |

Pour les valeurs de $m > 1$, on pourra admettre que $P_0$ est égal à 1, et calculer $\alpha$ par la formule (3); pour les valeurs de $m < 1$ on appliquera les formules (2) et (3). Les résistances ainsi calculées seront exactes à environ 0,01 près de leur valeur.

Dans son dernier Mémoire, M. F. Kohlrausch donne les conductibilités d'un certain nombre de dissolutions de chlorure de potassium à 18° rapportées à la conductibilité du mercure à 0° prise pour unité. Il trouve ainsi que la dissolution normale de chlorure de potassium possède une conductibilité moléculaire égale à $9,19 . 10^{-6}$. Mes expériences donnent $9,32 . 10^{-6}$; le nombre de M. Kohlrausch est plus faible d'environ $\frac{1}{70}$, ce qui n'a rien de surprenant, puisque les deux mesures fondamentales, faites à des températures différentes, ne sont pas directement comparables.

Le Tableau suivant donne le rapport à 18° des résistances des diverses solutions de chlorure de potassium à la dissolution normale, calculées : 1° d'après les formules (2) et (3); 2° d'après M. Kohlrausch.

| $m$. | Bouty. | Kohlrausch. | Différence. |
|---|---|---|---|
| 3,0........... | 1,0814 | 1,1112 | +0,0298 |
| 1,0........... | 1,0000 | 1,0000 | 0,0000 |
| 0,5........... | 0,9684 | 0,9593 | —0,0091 |
| 0,1........... | 0,8718 | 0,8777 | +0,0059 |
| 0,01........... | 0,8088 | 0,8012 | —0,0076 |
| 0,001.......... | 0,7823 | 0,7704 | —0,0119 |
| ∞ ............ | 0,7587 | 0,7558 | —0,0029 |

Sauf pour $m = 3$, l'accord des deux séries a lieu en général à moins de $\frac{1}{100}$ près, c'est-à-dire que la différence peut être attribuée entièrement aux erreurs thermométriques. La méthode des cou-

rants alternatifs a donc conduit, dans ce cas, M. Kohlrausch à des résultats très sensiblement exacts.

---

## CHAPITRE II.

### LOI DE LA CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE DES SOLUTIONS SALINES DE CONCENTRATION MOYENNE.

Nous savons qu'entre 0° et 20° la résistance d'une solution saline étendue est exactement représentée par la formule binôme

$$(4) \qquad r_t = \frac{r_0}{1 + \alpha t}.$$

Le coefficient $\alpha$, à partir d'une certaine dilution, souvent assez médiocre, ne diffère pas sensiblement de la valeur limite 0,0333 qui convient aux liqueurs les plus étendues.

Je suppose cette condition réalisée par un certain sel, le sulfate de zinc par exemple, et je mesure le rapport $K_0 = \frac{r_0}{R_0}$ de sa résistance moléculaire à 0° à celle du chlorure de potassium à 0° et de même concentration atomique, c'est-à-dire contenant le même nombre $m$ d'équivalents de sel par litre de la dissolution. L'avantage de cette comparaison est de pouvoir s'effectuer directement et avec une faible erreur relative, puisque les deux résistances à comparer sont du même ordre de grandeur. Le rapport $K_0$, en général plus grand que 1, tend vers la limite 1, à mesure que $m$ tend vers zéro. C'est la loi d'équivalents que j'ai énoncée antérieurement [1].

Posons

$$(5) \qquad K_0 = 1 + f(m),$$

et proposons-nous de déterminer la fonction $f(m)$. Les mesures relatives à un sel particulier, par exemple le sulfate de zinc, mon-

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. III, p. 444; *Séances de la Société de Physique*, année 1884, p. 58.

trent que, si l'on fait varier $m$ suivant les termes d'une progression géométrique, $f(m)$ varie suivant une autre progression géométrique. On a donc

$$f(m) = \mathrm{A} m^c.$$

En essayant de déterminer A et $c$ pour divers sels neutres normaux, on reconnaît bien vite que, tandis que A varie largement d'un sel à un autre, on peut considérer $c$ comme très sensiblement constant et égal à $\frac{1}{3}$. Les Tableaux suivants, relatifs à des sels pour lesquels $K_0$ varie dans des limites très larges, montreront la concordance du calcul ainsi effectué et de l'observation.

*Sulfate de zinc* A = 2,959.

| | $K_0$ | | |
|---|---|---|---|
| *m.* | observé. | calculé. | Différence. |
| 0,5 .............. | 3,335 | 3,348 | +0,013 |
| 0,2 .............. | 2,850 | 2,732 | −0,118 |
| 0,1 .............. | 2,420 | 2,375 | −0,045 |
| 0,05 ............. | 2,159 | 2,091 | −0,068 |
| 0,02 ............. | 1,815 | 1,805 | −0,010 |
| 0,01 ............. | 1,639 | 1,639 | 0,000 |
| 0,005 ............ | 1,485 | 1,507 | +0,022 |
| 0,002 ............ | 1,283 | 1,374 | +0,091 |
| 0,001 ............ | 1,269 | 1,297 | +0,030 |
| 0,00025 .......... | 1,158 | 1,187 | +0,029 |

Pour le sulfate de zinc, $\alpha$ ne diffère déjà plus d'une manière sensible de la limite 0,0333, à partir de $m = 0,5$.

*Nitrate de plomb* A = 1,116.

| | $K_0$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| *m.* | observé. | calculé. | Différence. | $\alpha$. |
| 0,5......... | 1,886 | 1,886 | 0,000 | 0,0389 |
| 0,25........ | 1,755 | 1,703 | −0,052 | » |
| 0,125....... | 1,559 | 1,558 | −0,001 | 0,0372 |
| 0,1......... | 1,525 | 1,518 | −0,007 | » |
| 0,05........ | 1,424 | 1,411 | −0,013 | » |
| 0,02........ | 1,266 | 1,303 | +0,037 | 0,0353 |
| 0,01........ | 1,141 | 1,240 | +0,099 | 0,0342 |
| 0,005....... | 1,185 | 1,191 | +0,006 | » |
| 0,002....... | 1,096 | 1,141 | +0,045 | » |
| 0,001....... | 1,096 | 1,112 | +0,016 | » |
| 0,00025..... | 1,049 | 1,069 | +0,020 | » |

Pour le nitrate de plomb, ce n'est qu'au-dessous de $m = 0,01$ qu'on peut admettre que $\alpha$ prend sensiblement sa valeur limite $0,0333$.

Il ressort clairement des deux Tableaux précédents :

1° Que la limite du rapport $K_0$ ne peut différer de l'unité d'une quantité appréciable : pour les sels étudiés *la loi d'équivalents est donc une loi limite rigoureusement exacte;*

2° Que, pour les mêmes sels et des valeurs de $m < 0,5$, on a

$$K_0 = 1 + A m^{\frac{1}{3}}. \tag{6}$$

J'ai trouvé pour A les valeurs suivantes :

| Sels. | A. |
|---|---|
| Sulfate de zinc | 2,959 |
| Nitrate de plomb | 1,116 |
| Sulfate de potasse | 0,359 |
| Nitrate de potasse | 0,240 |

On remarquera que la distance moyenne $l$ de deux molécules salines est en raison inverse de la racine cubique du nombre des molécules et par conséquent en raison inverse de $m^{\frac{1}{3}}$. On peut donc écrire la formule (6)

$$K_0 = 1 + \frac{A'}{l}. \tag{6 bis}$$

*L'écart d'un même sel, par rapport à la loi des équivalents, varie en raison inverse de la distance moyenne de ses molécules.*

Nous avons désigné par $P_0$ la résistance moléculaire du chlorure de potassium. Soit $\rho_0$ celle d'un sel normal; on a par définition

$$\left\{\begin{aligned} \rho_0 = K_0 P_0 &= 0,8\left(1 + 0,2976 m^{\frac{1}{3}}\right)\left(1 + A m^{\frac{1}{3}}\right) \\ &= 0,8\left[1 + (A + 0,2976) m^{\frac{1}{3}} + 0,2976 A m^{\frac{2}{3}}\right], \end{aligned}\right. \tag{7}$$

en prenant pour unité la résistance de la dissolution normale de chlorure de potassium.

Il est vraisemblable, d'après la forme de la relation (7), que la résistance spécifique d'une dissolution saline à 0° peut être déve-

loppée en série suivant les puissances de $m^{\frac{1}{3}}$. On aurait donc

$$(8) \qquad \rho_0 = 0,8 + bm^{\frac{1}{3}} + cm^{\frac{2}{3}} + \ldots,$$

$$(8\ bis) \qquad \rho_0 = 0,8 + \frac{b'}{l} + \frac{c'}{l^2} + \ldots$$

Mon but ayant été surtout d'établir l'exactitude de la loi d'équivalents comme loi limite, je ne possède jusqu'ici qu'un trop petit nombre de mesures sur les dissolutions concentrées pour essayer de calculer les coefficients de la formule (8) avec trois ou quatre termes. Mais il est évident qu'on peut la réduire à un nombre de termes d'autant plus petit que $l$ est plus grand, c'est-à-dire $m$ plus petit. Pour le chlorure de potassium et $m < 0,5$ deux termes suffisent; il en faut un plus grand nombre pour d'autres sels, mais on peut toujours pratiquement atteindre une dilution pour laquelle deux termes sont suffisants. On est conduit à l'énoncé suivant :

*L'excès de la résistance moléculaire d'un sel dilué sur sa valeur limite est à peu près en raison inverse de la distance moyenne de ses molécules.*

Cette dernière observation a été publiée, pour la première fois, par M. F. Kohlrausch [1], dans son Mémoire sur les dissolutions très étendues.

Les nombres fournis par M. Kohlrausch pour le sulfate de zinc se prêtent à une comparaison avec les miens. En ramenant ses observations à 0° au moyen des coefficients $\alpha$ déduits de mes propres expériences, on obtient la valeur de $K_0$. Le Tableau suivant présente ces valeurs en regard des valeurs calculées par la formule (6) :

| | $K_0$. | | |
|---|---|---|---|
| $m$. | Kohlrausch. | Bouty. | Différence. |
| 0,1 ......... | 2,230 | 2,375 | —0,145 |
| 0,05 ......... | 2,043 | 2,091 | —0,048 |
| 0,01 ......... | 1,605 | 1,639 | —0,034 |
| 0,02 ......... | 1,345 | 1,374 | —0,029 |
| 0,001 ......... | 1,265 | 1,297 | —0,032 |

L'accord, assez défectueux pour les plus grandes concentrations,

---

(1) Kohlrausch, *Wied. Ann.*, t. XXVI, p. 201.

ce qui peut tenir en partie à la différence des températures auxquelles ont été réalisées les mesures de M. Kohlrausch et les miennes, se rétablit pour les grandes dilutions. Mais M. Kohlrausch, ayant poussé ses expériences jusqu'à $m = 0,00001$, trouve pour les valeurs de $K_{18}$ (égal à $K_0$ pour ces dilutions extrêmes) $K_{18} = 1,147$ au lieu de $1,064$ que donnerait la formule (6). Or non seulement mes nombres, mais encore ceux de M. Kohlrausch, considérés pour des valeurs de $m > 0,001$, convergent vers la limite 1. Ce n'est que pour des dilutions beaucoup plus grandes, et que je n'ai jamais employées moi-même, que le désaccord apparaît. Le même désaccord se manifeste, dans les mêmes conditions, pour divers autres sels.

Il est impossible de ne pas attribuer ce désaccord à des phénomènes secondaires. On peut invoquer :

1° L'insuffisance probable de la méthode des courants alternatifs;

2° L'incertitude de la correction relative à l'eau distillée, quand celle-ci possède une conductibilité appréciable par rapport à celle du sel dissous;

3° Les réactions exercées sur le sel dissous par les impuretés apportées par l'eau distillée. Ces matières existent dans les dissolutions extrêmement étendues en proportion relative d'autant plus considérable que la dilution est plus grande.

C'est précisément pour être à l'abri des deux dernières causes d'erreur que j'avais volontairement exclu de mon premier travail les dissolutions contenant moins de $0^{gr},25$ de sel par litre et que je ne suis pas descendu dans celui-ci à des valeurs de $m < 0,001$ ou au plus $0,00025$. J'ajouterai que c'est principalement en vue d'apprécier l'importance de ces causes d'erreur que j'ai entrepris l'étude qui forme la dernière Partie de ce travail.

## CHAPITRE III.

### SUR LA CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE DES MÉLANGES DE SELS NEUTRES.

On ne sait que fort peu de chose sur la conductibilité des mélanges de sels neutres. Aucune règle générale n'a encore permis de la déduire exactement de la conductibilité, supposée connue, des dissolutions salines simples.

Il y avait lieu d'examiner si la difficulté du problème tenait à la nature même de la conductibilité électrolytique ou si elle n'était pas plutôt liée à la variabilité des équilibres chimiques possibles au sein des dissolutions. Après bien des tâtonnements, c'est à cette dernière hypothèse que je me suis arrêté. Je me suis rencontré dans cette voie avec M. Foussereau (¹), que des recherches, poursuivies dans un but différent, amenaient sur le même terrain.

Est-il permis d'assimiler un mélange salin à un conducteur métallique hétérogène, c'est-à-dire de calculer la résistance spécifique R du mélange par la formule

$$(9) \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{R'} + \frac{1}{R''} + \frac{1}{R'''} + \dots,$$

exprimant que les conductibilités s'ajoutent? Si cette assimilation est légitime en principe, à quelles restrictions est-elle pratiquement soumise?

La formule (9) qui, pour les diverses parties d'une même dissolution simple, n'exprime qu'une identité, n'est déjà plus applicable quand on fait varier la dilution : elle conduirait à admettre que la conductibilité moléculaire est constante, et l'on sait que, pour tous les sels, cette conductibilité croît à mesure qu'on augmente la quantité d'eau. Je n'ai donc comparé entre elles que des dissolutions contenant, sous le même volume de $1^{\text{lit}}$, le même nombre total de molécules salines; cette condition exclut déjà les dissolutions très concentrées, dont la formation est accompagnée de variations de volume différentes d'un sel à un autre pour une quantité d'eau déterminée et un même nombre donné de molé-

---

(¹) FOUSSEREAU, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CIII, p. 248.

cules salines. Je me suis ensuite adressé à des sels de même acide ou de même base, sans action chimique connue, et j'ai trouvé qu'effectivement la conductibilité du mélange ne diffère pas sensiblement de la somme des conductibilités de ses éléments.

Dans les Tableaux suivants, *m* désigne le nombre *total* d'équivalents en grammes par litre de la dissolution; $K_0$ le rapport de la résistance moléculaire à 0° du sel ou du mélange de sels à la résistance moléculaire du chlorure de potassium de même concentration atomique :

| Nature du mélange salin ($m = 0,1$). | $K_0$ observé. | $K_0$ calculé. | Différence. |
|---|---|---|---|
| $PbO, AzO^5$ | 1,462 | admis | |
| $KO, AzO^5$ | 1,133 | admis | |
| $\frac{1}{2}(PbO, AzO^5 + KO, AzO^5)$ | 1,269 | 1,276 | +0,007 |
| $\frac{1}{4}(3PbO, AzO^5 + KO, AzO^5)$ | 1,367 | 1,363 | —0,004 |
| $\frac{1}{3}(PbO, AzO^5 + 2KO, AzO^5)$ | 1,229 | 1,225 | —0,004 |
| $\frac{1}{5}(PbO, AzO^5 + 4KO, AzO^5)$ | 1,193 | 1,187 | —0,006 |

Les mélanges ternaires de chlorure de potassium, d'azotate et de sulfate de potasse et les divers mélanges binaires de ces trois sels, les mélanges de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc se comportent de la même manière.

Si l'on adopte d'une manière générale le mode de calcul que nous avons suivi et que l'on s'adresse à des sels susceptibles de réagir entre eux, la mesure de la conductibilité préviendra de l'altération subie. Voici les principaux cas que j'ai examinés :

1. Le sulfate de zinc et le sulfate de potasse donnent naissance au sel

$$KO, SO^3 + ZnO, SO^3 + 6HO,$$

susceptible de cristalliser, mais qui n'existe pas en dissolution très étendue. Quand une molécule de sel double remplacera, dans une liqueur, deux molécules de sel simple, la résistance se trouvera augmentée. Les Tableaux suivants montrent que la quantité de sel double est toujours très faible, mais qu'il en existe encore quelques traces dans des liqueurs déjà étendues ($m = 0,1$).

| $m$. | $K_0$ observé. | $K_0$ calculé. | Différence. |
|---|---|---|---|
| | $\frac{1}{2}$(KO, $SO^3$ + ZnO, $SO^3$). | | |
| 1,0 | 2,197 | 2,046 | —0,151 |
| 0,5 | 1,958 | 1,855 | —0,103 |
| 0,2 | 1,741 | 1,698 | —0,043 |
| 0,1 | 1,601 | 1,573 | —0,028 |
| 0,05 | 1,473 | 1,483 | +0,010 |
| 0,02 | 1,363 | 1,367 | +0,004 |
| 0,01 | 1,305 | 1,299 | —0,006 |
| | $\frac{1}{3}$(KO, $SO^3$ + 2ZnO, $SO^3$). | | |
| 1,0 | 2,642 | 2,461 | —0,182 |
| 0,5 | 2,356 | 2,177 | —0,179 |
| 0,2 | 1,989 | 1,963 | —0,026 |
| 0,1 | 1,819 | 1,781 | —0,038 |
| 0,05 | 1,678 | 1,657 | —0,021 |
| 0,02 | 1,510 | 1,490 | —0,020 |
| 0,01 | 1,399 | 1,397 | —0,002 |
| 0,005 | 1,309 | 1,311 | +0,002 |
| 0,002 | 1,219 | 1,214 | —0,005 |

**2.** Un cas de statique chimique plus intéressant est celui du mélange de deux sels d'acide et de base différents. On sait que les quatre sels formés par l'union de chaque acide et de chaque base coexistent dans la liqueur; mais, dans bien des cas, le mélange des dissolutions n'est accompagné d'aucun phénomène calorifique appréciable et ce n'est qu'exceptionnellement qu'on sait calculer la proportion dans laquelle se fait le partage. L'électromètre permettra de combler cette lacune, particulièrement dans le cas du mélange d'un sel alcalin et d'un sel de l'un des métaux communs, zinc, cuivre, fer, etc.

Je citerai, comme exemple, le mélange à équivalents égaux de sulfate de zinc et de nitrate de potasse.

Pour $m = 0,5$ et pour les quatre sels possibles, l'expérience fournit les valeurs suivantes de $K_0$ :

| Sel. | $K_0$. |
|---|---|
| ZnO, $SO^3$ | 3,335 |
| ZnO, $AzO^5$ | 1,579 |
| KO, $SO^3$ | 1,285 |
| KO, $AzO^5$ | 1,190 |

d'où l'on déduit, pour les mélanges à équivalents égaux des deux groupes de sels différents,

| Sel. | $K_0$. |
|---|---|
| $\frac{1}{2}(ZnO, SO^3 + KO, AzO^5)$ ......... | 1,754 |
| $\frac{1}{2}(KO, SO^3 + ZnO, AzO^5)$ ......... | 1,416 |

valeurs assez écartées l'une de l'autre pour pouvoir donner prise à un calcul de proportion.

L'expérience directe, effectuée sur les liqueurs résultant de ces deux mélanges, a fourni les valeurs de $K_0$, 1,643 et 1,648, intermédiaires aux précédentes et identiques entre elles aux quantités près de l'ordre des erreurs d'expérience. Les quatre sels existent donc dans chacun des mélanges binaires, et ils s'y trouvent dans une proportion indépendante de la manière dont les acides et les bases étaient primitivement associés.

Soit $x$ la proportion du groupe $KO, SO^3 + ZnO, AzO^5$; $x$ est déterminé par la formule

$$(10) \qquad \frac{x}{1,416} + \frac{1-x}{1,754} = \frac{1}{1,6445},$$

d'où

$$x = 0,276.$$

Les mêmes expériences, réalisées pour une dilution plus grande ($m = 0,1$), ont donné $x = 0,263$.

Un excès de nitrate de potasse ou de nitrate de zinc ne modifie pas sensiblement la valeur de $x$; par exemple, le mélange

$$2KO, AzO^5 + ZnO, SO^3$$

($m = 0,5$) donne $x = 0,283$.

Au contraire, un excès de sulfate diminue la valeur de $x$, sans doute par suite de la formation de sulfate double. Avec

$$2ZnO, SO^3 + KO, AzO^5$$

($m = 0,5$), on a trouvé

$$x = 0,220;$$

mais ce nombre n'a plus de signification précise, puisque le mélange est plus complexe que ne le suppose la formule employée.

Le calcul devient encore illusoire dans deux cas.

1° Pour les dilutions extrêmes, car, tous les coefficients de la formule (10) ayant pour limite l'unité quand $m$ tend vers 0, cette formule se réduit, à la limite, à une identité et $x$ est indéterminé.

2° Pour les sels caractérisés par des valeurs de $K_0$, telles que le calcul donne pour les deux mélanges binaires simples des valeurs de $K_0$ très voisines. Les coefficients de la formule (10) sont alors sensiblement égaux entre eux et $x$ est indéterminé.

Soient $K$, $K'$, $K_1$, $K'_1$ les valeurs de $K_0$ pour chacun des sels simples. On a, dans ce second cas,

$$\frac{1}{K} + \frac{1}{K'} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K'_1}. \tag{11}$$

On peut satisfaire à cette équation en posant

$$\left\{ \begin{aligned} K &= a + b, \\ K' &= a' + b', \\ K_1 &= a + b', \\ K'_1 &= a' + b; \end{aligned} \right. \tag{12}$$

$a$ et $a'$, $b$ et $b'$ peuvent alors être considérés comme des coefficients caractéristiques des deux acides et des deux bases et les mesures faites sur les quatre sels séparés permettent de déterminer ces coefficients. D'après M. Kohlrausch, la relation (11) serait à peu près vérifiée pour la plupart des dissolutions étendues. S'il en est ainsi, le calcul ne fournira de bons résultats que pour des liqueurs assez concentrées, telles que nous les avons employées ci-dessus.

*Action propre de l'eau distillée.* — Nous sommes maintenant en mesure d'examiner si l'on est en droit d'appliquer la formule (9) au calcul de la résistance propre $R'$ d'un sel dissous, en quantité très minime, dans une eau distillée de résistance E connue. Soit R la résistance de la dissolution : on aurait alors

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{E} + \frac{1}{R'}. \tag{13}$$

Pour se prononcer, il faut d'abord savoir ce qu'on peut entendre par *résistance propre d'un sel dissous*. Les sels solides sont isolants et la résistance moléculaire des sels dissous varie avec la di-

lution; on ne peut donc envisager la résistance du sel dissous indépendamment de l'eau de dissolution; *on ne peut se livrer à aucun calcul rationnel faisant intervenir la conductibilité propre de l'eau.*

Mais les variations énormes de la conductibilité de l'eau distillée, suivant qu'elle a ou non séjourné à l'air d'un laboratoire, dans des vases de verre ou de porcelaine, etc. [1], prouvent que la majeure part, sinon la totalité, de cette conductibilité électrique doit être attribuée aux matières étrangères, acides ou sels, que l'eau distillée contient en dissolution. Quand on dissout un nouveau sel dans cette eau, il faut examiner si la relation

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R''} + \frac{1}{R'} \tag{14}$$

est ou non applicable; $R''$ mis à la place de E représente ici *la résistance de la dissolution nommée eau distillée* et nous rentrons dans l'étude à laquelle est consacré ce Chapitre.

1° Tant que $m$ est supérieur à 0,001 par exemple, la résistance $R''$ de l'eau distillée est si grande par rapport à R qu'il est parfaitement légitime de confondre R et $R'$. C'est le cas de toutes mes expériences.

2° $m$ est beaucoup plus petit que 0,001; à mesure que la dilution augmente, la proportion relative du sel $R''$ apporté par l'eau distillée augmente; elle finit par atteindre et dépasser celle du sel étudié $R'$. Alors le calcul cesse d'être applicable rigoureusement.

Supposons, pour simplifier, que les deux sels sont identiques. Par exemple, l'eau distillée apporte avec elle du sulfate de zinc à la dose de $m = 0,00001$ et l'on y ajoute une quantité égale de sulfate de zinc. On a alors, par l'application de la formule (6), $R' = R'' = 1,064$ en prenant pour unité la résistance de la dissolution *pure* de chlorure de potassium de même concentration. Or l'expérience donnera sensiblement $R = 0,5405$ [2]. Prenant pour

---

[1] FOUSSEREAU, *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. V, p. 338; *Séances de la Société de Physique*, année 1884, p. 231.

[2] Calculé par la formule (6) en négligeant la très légère variation de conductibilité moléculaire de KCl.

inconnue $R'$ dans la formule (14) dans laquelle on suppose $R''$ et $R$ connus, on trouve

$$R' = 1,0985,$$

au lieu de 1,064. On attribuerait ainsi au sel dissous une résistance moléculaire d'autant plus forte que l'eau distillée contiendrait déjà une plus forte proportion du même sel. Cet effet ne deviendra insensible que pour les sels tels que le chlorure de potassium ou les sels de potasse dont la conductibilité moléculaire varie peu avec la dilution,

Si les deux sels $R''$ et $R'$ diffèrent, on ne peut plus rien dire de général. S'ils sont sans action chimique l'un sur l'autre, les choses se passeront à peu près comme pour un sel unique : la présence de sulfate de cuivre dans l'eau distillée accroîtrait donc la résistance calculée $R'$ du sulfate de zinc et inversement. S'il y a double décomposition, on trouvera, suivant les cas, des valeurs de $R'$ trop fortes ou trop faibles, et il est évident que les erreurs commises pourront devenir considérables. En particulier, si l'eau renferme un acide ou une base libre, les mesures relatives à un sel basique ou à un sel acide perdront toute espèce de signification.

On voit donc que l'exclusion des dilutions extrêmes s'impose. *Les arguments à l'encontre de la loi limite des équivalents tirés d'expériences où l'on fait usage de ces dilutions sont de nulle valeur.*

---

## *Recherches sur les densités des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées;* par M. L. Cailletet et E. Mathias.

(Séance du 4 juin 1886).

*Historique.* — Plusieurs physiciens, et, en particulier, Faraday, Thilorier, Bussy et Andréeff ont étudié les densités des gaz liquéfiés.

Les difficultés qu'on éprouve à manier ces liquides sous des pressions aussi élevées n'ont guère permis à ces auteurs d'obtenir des données un peu précises. Deux méthodes ont surtout été em-

ployées par les premiers expérimentateurs : celle des flotteurs de verre ([1]) et celle dans laquelle on compare les volumes du gaz et du liquide qui lui a donné naissance. La méthode des boules de verre, qui a été surtout employée par Faraday en 1823, n'est qu'approximative et donne des résultats trop grands à cause de la compression des boules.

L'autre méthode a été reprise récemment par M. Wroblewski ([2]) et appliquée à l'oxygène et à l'azote liquides.

Une méthode tout à fait inverse et dans laquelle on mesure le volume qu'occupe à l'état liquéfié un poids connu de gaz a été proposée par M. Ansdell ([3]); cette méthode, rendue très pratique par l'emploi de la pompe inventée par l'un de nous, a été appliquée par son auteur à l'acide chlorhydrique et à l'acétylène liquides et a été reprise depuis par M. Bleekrode dans ses recherches sur la réfraction des gaz à l'état liquide ([4]).

Une méthode susceptible de précision est celle qui a été employée par Andréeff ([5]) et qui consiste à étudier la dilatation du gaz liquéfié dans un vase thermométrique; mais elle exige la connaissance préalable de la densité de la vapeur saturée qu'on ne peut calculer d'après les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, comme le faisait Andréeff, ce qui donne des résultats trop grands, absolument inacceptables pour les gaz ayant une tension de vapeur considérable.

D'autre part, la densité de la vapeur d'eau saturée a été étudiée par MM. Fairbairn et Tate ([6]) entre + 58° et + 144°.

Malheureusement, la méthode extrêmement originale de ces physiciens ne semble guère applicable au cas de très fortes pressions.

Depuis, le volume spécifique de la vapeur saturée du gaz chlorhydrique a été mesurée à différentes températures par M. Ansdell ([7]) par une méthode qui a beaucoup d'analogie avec celle que nous avons employée.

---

([1]) Faraday, *Ann. de Chim.*, t. XXIV, 1823, dit qu'il est redevable de la méthode des boules à M. Davis Guilbert.

([2]) Wroblewski, *Comptes rendus*, t. CII, p. 1010; 1886.

([3]) Ansdell, *Proc. Roy. Soc.*, t. XXX, p. 117, et t. XXIX, p. 209; 1879.

([4]) Bleekrode, *Journ. de Phys.*, t. IV, 2e série, p. 109; 1885.

([5]) Andréeff, *Ann. de Chim.*, 3e série, t. LVI, p. 317; 1859.

([6]) *Philosophical Trans.*, p. 188, 1860, et *Ann. de Chim.*, 3e série, p. 249.

([7]) Ansdell, *Proc. Roy. Soc.*, t. XXX, p. 117; 1879.

Enfin, depuis la publication de notre travail (1), M. A. Perot (2) a publié une élégante méthode de mesure de la densité des vapeurs saturées, qu'il a appliquée à l'eau et à l'éther.

Dans les recherches que nous avons entreprises sur les densités des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées, nous avons opéré avec des appareils d'une grande simplicité, fabriqués entièrement en verre et pouvant résister à des pressions de plusieurs centaines d'atmosphères. Nos appareils sont disposés de telle sorte qu'une même masse de gaz peut, sans crainte de perte ou de mélange, être condensée dans le tube même où le liquide doit être étudié, et cela autant de fois que l'expérience l'exige.

I. *Densités des vapeurs saturées.* — Nous nous servons pour mesurer les densités des vapeurs saturées d'un tube de verre épais (*fig.* 1) exactement jaugé et soudé à un réservoir cylindrique d'environ $60^{cc}$, ouvert à sa partie inférieure.

On a rigoureusement déterminé le volume total de l'appareil, ainsi que la valeur d'une de ses divisions. Lorsqu'on veut opérer, on fait plusieurs fois le vide dans l'appareil au moyen d'une pompe à mercure, en établissant chaque fois la pression par l'introduction dans le réservoir du gaz pur et sec que l'on veut étudier. On mesure enfin la pression et la température du gaz, afin de pouvoir calculer son poids.

Le réservoir est vissé sur l'éprouvette de l'appareil construit par l'un de nous pour ses recherches sur les gaz.

Le tube gradué est enveloppé d'un manchon en verre qui contient un liquide à température constante. On donne alors graduellement la pression, afin d'obtenir dans le tube une certaine quantité de gaz liquéfié. Après s'être assuré que la température est parfaitement fixe, on diminue la pression avec une grande lenteur, jusqu'à ce que la dernière goutte du liquide condensé disparaisse. On note alors la température (3), ainsi que la division de

(1) Cailletet et Mathias, *Comptes rendus*, t. CII; 31 mai 1886.

(2) A. Perot, *Comptes rendus*, t. CII; 1886

(3) Nous avons pu, grâce à l'obligeance de M. Broch, nous servir, pour les mesures des températures, d'un excellent thermomètre, vérifié au Bureau international des Poids et Mesures.



la graduation, correspondant à la hauteur du mercure. Cette détermination peut être faite avec une grande précision au moyen d'une lunette.


Fig. 1.



M. Ansdell obtenait le point de saturation par l'observation d'un manomètre à air qui cessait de monter ou de descendre par compression ou décompression du gaz étudié. Connaissant le poids du gaz saturé et son volume, il est facile d'en déduire la densité.

Nos premières recherches ont porté sur le protoxyde d'azote, l'éthylène et l'acide carbonique [1].

*Protoxyde d'azote.* — Ce gaz a été préparé avec des précautions spéciales, afin de l'obtenir sans mélange d'air; deux séries d'expériences concordantes faites avec des échantillons de gaz différents s'étendent de — 28° à + 34°.

Voici les nombres que nous avons obtenus:

| *t.* | Observé. | Calculé. | Δ. |
|---|---|---|---|
| +33°,9 | 0,2650 | 0,2745 | +0,0095 |
| +32,8 | 0,2500 | 0,2560 | +0,0060 |
| +30,7 | 0,2266 | 0,2285 | +0,0019 |
| +29,6 | 0,2112 | 0,2169 | +0,0057 |
| +28,0 | 0,2023 | 0,2019 | —0,0004 |
| +26,9 | 0,1936 | 0,1929 | —0,0007 |
| +25,4 | 0,1782 | 0,1814 | +0,0032 |
| +23,4 | 0,1690 | 0,1681 | —0,0009 |
| +20,7 | 0,1532 | 0,1532 | 0,0000 |
| +17,2 | 0,1360 | 0,1351 | —0,0009 |
| +14,1 | 0,1284 | 0,1221 | —0,0063 |
| +13,5 | 0,1216 | 0,1200 | —0,0016 |
| +11,8 | 0,1140 | 0,1140 | 0,0000 |
| + 9,2 | 0,1066 | 0,1048 | —0,0018 |
| + 6,1 | 0,0953 | 0,0953 | 0,0000 |
| + 4,0 | 0,0909 | 0,0894 | —0,0015 |
| — 1,5 | 0,0785 | 0,0762 | —0,0023 |
| — 4,0 | 0,0722 | 0,0709 | —0,0013 |
| — 7,5 | 0,0661 | 0,0643 | —0,0018 |
| —12,2 | 0,0566 | 0,0563 | —0,0003 |
| —21,5 | 0,0461 | 0,0442 | —0,0019 |
| —23,5 | 0,0413 | 0,0422 | +0,0009 |
| —27,0 | 0,0387 | 0,0390 | +0,0003 |
| —28,0 | 0,0378 | 0,0383 | +0,0005 |

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule

$$\delta = 0,5099 - 0,00361\,t - 0,0714\sqrt{36°,4 - t},$$

[1] Les densités sont rapportées à l'eau à + 4°.

qui assimile la courbe des vapeurs saturées à un arc de parabole et qui suppose la température critique du protoxyde d'azote égale à 36°,4 (¹).

A cause de la très grande variation de la densité au voisinage du point critique, cette formule empirique ne représente convenablement les nombres fournis par l'expérience qu'à partir de 2° ou 3° au-dessous de la température critique; il en sera de même pour toutes les formules indiquées dans ce travail.

*Éthylène.* — Nous avons expérimenté sur de l'éthylène obligeamment préparé pour nos recherches par M. Riban : les déterminations s'étendent de — 30° à + 8°,9, température que nous n'avons pu dépasser à cause du point critique (²) situé dans le voisinage de + 12°, ainsi que l'un de nous l'avait précédemment montré.

Deux séries d'expériences ont donné les densités suivantes :

| *t.* | Observé. | Calculé. | Δ. |
|---|---|---|---|
| ° | | | |
| + 8,9 | 0,1500 | 0,1572 | +0,0072 |
| + 8 0 | 0,1400 | 0,1400 | 0,0000 |
| + 6,1 | 0,1233 | 0,1206 | —0,0027 |
| + 4,5 | 0,1127 | 0,1098 | —0,0029 |
| + 3,6 | 0,1033 | 0,1045 | +0,0012 |
| + 3,3 | 0,1004 | 0,1026 | +0,0022 |
| + 2,8 | 0,0923 | 0,1001 | +0,0078 |
| — 0,5 | 0,0860 | 0,0862 | +0,0002 |
| — 2,0 | 0,0831 | 0,0809 | —0,0022 |
| — 5,0 | 0,0727 | 0,0720 | —0,0007 |
| — 9,5 | 0,0632 | 0,0611 | —0,0021 |
| —11,5 | 0,0528 | 0,0571 | +0,0043 |
| —16,0 | 0,0501 | 0,0493 | —0,0008 |
| —23,0 | 0,0389 | 0,0398 | +0,0009 |
| —25,0 | 0,0357 | 0,0376 | +0,0019 |
| —30,0 | 0,0329 | 0,0327 | —0,0002 |

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule parabolique

$$\delta = 0,1929 - 0,00188\,t - 0,0346\sqrt{9,2 - t}.$$

(¹) D'après M. Roth (*Wied. Ann.*, t. XI, p. 1; 1881).

(²) 9°,2 d'après MM. Van der Waals et Bleekrode.

*Acide carbonique.* — Nous avons fait avec ce gaz, préparé à diverses reprises, neuf séries d'expériences, toutes très concordantes, s'étendant de — 30° à + 30°,2, dont nous extrayons les nombres ci-dessous :

| *t.* | Observé. | Calculé. | Δ. |
|---|---|---|---|
| +30°,2 | 0,3507 | 0,3629 | +0,0122 |
| +28,9 | 0,3118 | 0,3226 | +0,0108 |
| +28,1 | 0,3044 | 0,3040 | —0,0004 |
| +27,0 | 0,2864 | 0,2848 | —0,0016 |
| +26,1 | 0,2685 | 0,2699 | +0,0014 |
| +25,0 | 0,2543 | 0,2545 | +0,0002 |
| +23,7 | 0,2369 | 0,2389 | +0,0020 |
| +22,4 | 0,2288 | 0,2253 | —0,0035 |
| +21,3 | 0,2155 | 0,2149 | —0,0006 |
| +19,7 | 0,2014 | 0,2008 | —0,0006 |
| +17,3 | 0,1835 | 0,1823 | —0,0012 |
| +15,7 | 0,1712 | 0,1714 | +0,0002 |
| +13,6 | 0,1585 | 0,1586 | +0,0001 |
| +11,8 | 0,1451 | 0,1485 | +0,0034 |
| +10,1 | 0,1414 | 0,1400 | —0,0014 |
| + 8,2 | 0,1304 | 0,1311 | +0,0007 |
| + 6,7 | 0,1223 | 0,1240 | +0,0017 |
| + 2,2 | 0,1040 | 0,1063 | +0,0023 |
| + 0,5 | 0,0983 | 0,1010 | +0,0027 |
| — 1,4 | 0,0953 | 0,0949 | —0,0004 |
| — 5,0 | 0,0850 | 0,0841 | —0,0009 |
| —12,0 | 0,0692 | 0,0680 | —0,0012 |
| —16,0 | 0,0596 | 0,0596 | 0,0000 |
| —21,8 | 0,0526 | 0,0498 | —0,0028 |
| —23,8 | 0,0475 | 0,0465 | —0,0010 |
| —24,5 | 0,0463 | 0,0455 | —0,0008 |
| —26,0 | 0,0414 | 0,0434 | +0,0020 |
| —27,9 | 0,0382 | 0,0413 | +0,0031 |
| —29,8 | 0,0352 | 0,0385 | +0,0033 |

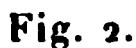
Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule empirique

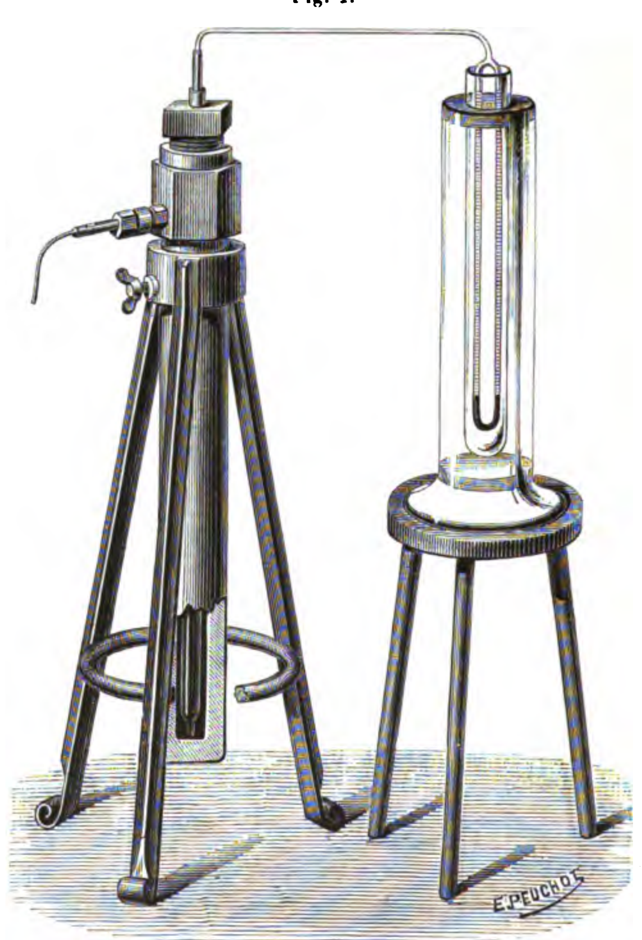
$$\delta = 0,5668 - 0,00426\,t - 0,084\sqrt{31 - t}.$$

**II.** *Densités des gaz liquéfiés.* — Notre méthode repose sur le principe des vases communiquants qui a été appliqué il y a

quelque temps à la mesure rapide de la densité des liquides ordinaires et d'une façon si heureuse par M. L. Amat ([1]).

L'appareil que nous avons construit pour ces recherches se compose (*fig.* 2) d'un réservoir en verre soudé à un tube épais;


Fig. 2.




ce réservoir, dont le volume est d'environ $600^{cc}$, peut être fixé au moyen d'un écrou sur une grande éprouvette en acier qui ren-

---

([1]) L. Amat, *Bulletin de la Soc. Chim.*, nouvelle série, t. XLV, p. 482; 1886.

ferme du mercure. Un tube de verre en forme d'O, formé de deux branches parallèles verticales, d'environ $0^m,50$ de longueur et de $1^{mm},5$ de diamètre intérieur, est soudé au réservoir à gaz par l'intermédiaire d'un tube deux fois recourbé. L'appareil, entièrement en verre, a été essayé à $200^{atm}$. Les deux branches parallèles du tube en O sont divisées en millimètres et contiennent une certaine quantité de mercure.

Lorsque l'on comprime le gaz contenu dans le réservoir au moyen de la pompe de notre appareil et qu'en même temps on refroidit une des branches du tube divisé, en vertu du principe de la paroi froide, une certaine quantité de liquide vient distiller et déprime le mercure; on a soin de condenser aussi un peu de liquide dans la seconde branche, afin de n'avoir pas à s'occuper de la correction de la capillarité, dont les effets s'annulent, les ménisques étant les mêmes dans les deux branches verticales.

Soient $h$ la différence des hauteurs du liquide condensé dans les deux branches et $x$ la densité de ce liquide.

Soient $h'$ et $\delta$ la dénivellation du mercure et sa densité, et $d$ la densité de la vapeur saturée à $t°$; on a

$$hx = h\delta + (h - h')d,$$

d'où l'on tire $x$.

On voit que cet appareil nous permet d'opérer toujours avec la même masse de gaz qu'il nous est possible de faire passer à l'état liquide autant de fois que l'expérience l'exige.

*Protoxyde d'azote.* — Nos déterminations s'étendent de — 20°,6 à + 24°.

| $t$. | Observé. | Calculé. | $\Delta$. |
|---|---|---|---|
| ° | | | |
| +23,7 | 0,698 | 0,709 | +0,011 |
| +22,7 | 0,729 | 0,720 | —0,009 |
| +19,8 | 0,758 | 0,750 | —0,008 |
| +16,7 | 0,791 | 0,779 | —0,012 |
| +14,5 | 0,800 | 0,796 | —0,004 |
| +13,1 | 0,809 | 0,808 | —0,001 |
| +11,7 | 0,810 | 0,819 | +0,009 |
| + 9,0 | 0,846 | 0,839 | —0,007 |
| + 6,6 | 0,849 | 0,856 | +0,007 |
| + 1,4 | 0,866 | 0,889 | +0,023 |

| $t$. | Observé. | Calculé. | Δ. |
|---|---|---|---|
| ° | | | |
| — 2,2 | 0,912 | 0,911 | —0,001 |
| — 5,5 | 0,9308 | 0,9294 | —0,0014 |
| — 7,3 | 0,953 | 0,939 | —0,014 |
| —11,6 | 0,9525 | 0,9608 | +0,0083 |
| —18,0 | 0,981 | 0,992 | +0,011 |
| —20,6 | 1,0026 | 1,0039 | +0,0013 |

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule empirique

$$\delta = 0,342 + 0,00166\,t + 0,0922\sqrt{36°,4 - t}.$$

*Éthylène.* — Nous n'avons obtenu avec ce gaz liquéfié qu'un petit nombre de mesures; son extrême mobilité gêne beaucoup les déterminations.

M. Bleekrode [1] a mesuré avant nous, par la méthode d'Ansdell, trois densités de l'éthylène liquide à + 8°, + 6° et + 3°. Les résultats qu'il a trouvés sont sensiblement plus forts que les nôtres.

On se rappelle toutes les difficultés que Regnault a éprouvées en étudiant l'éthylène : nous devons faire les mêmes réserves que celles formulées par l'illustre physicien.

| $t$. | Densités. |
|---|---|
| ° | |
| —21,0......... | 0,414 |
| — 3,7......... | 0,353 |
| + 4,3.. ...... | 0,332 |
| + 6,2......... | 0,310 |

*Acide carbonique.* — Nos expériences s'étendent de — 34° à + 22°. Nous avons trouvé :

| $t$. | Observé. | Calculé. | Δ. |
|---|---|---|---|
| ° | | | |
| +22,2 | 0,726 | 0,727 | +0,001 |
| +20,9 | 0,755 | 0,744 | —0,011 |
| +19,7 | 0,770 | 0,758 | —0,012 |
| +16,5 | 0,788 | 0,791 | +0,003 |
| +15,9 | 0,796 | 0,796 | 0,000 |

[1] Bleekrode, *Journ. de Phys.*, t. IV, 2ᵉ série, p. 109; 1885.

| $t$. | Observé. | Calculé. | Δ. |
|---|---|---|---|
| $+11^{\circ},0$ | 0,840 | 0,840 | 0,000 |
| + 6,8 | 0,868 | 0,869 | +0,001 |
| + 3,4 | 0,870 | 0,891 | +0,021 |
| + 1,3 | 0,907 | 0,904 | —0,003 |
| — 1,6 | 0,910 | 0,920 | +0,010 |
| — 3,3 | 0,936 | 0,929 | —0,007 |
| — 8,2 | 0,955 | 0.954 | —0,001 |
| —11,5 | 0,966 | 0,967 | +0,001 |
| —14,5 | 0,985 | 0,980 | —0,005 |
| —23,0 | 0,998 | 1,010 | +0,012 |
| —25,0 | 1,016 | 1,018 | +0,002 |
| —30,0 | 1,013 | 1,033 | +0,020 |
| —34,0 | 1,057 | 1,045 | —0,012 |

Les nombres de la troisième colonne ont été calculés au moyen de la formule empirique

$$\delta = 0,350 + 0,0035\,t + 0,101\sqrt{31 - t}.$$

On sait que M. Sarrau (¹) a pu calculer, au moyen des Tables de Clausius, les volumes spécifiques de l'acide carbonique à l'état liquide et de vapeur saturée.

Pour comparer nos résultats à ceux de M. Sarrau, nous avons représenté graphiquement (*fig.* 3) les densités, en prenant les températures pour abscisses et les densités pour ordonnées; nous avons mesuré sur la courbe les ordonnées correspondant à sept températures équidistantes de 10°; nous écrivons ci-dessous les nombres trouvés par M. Sarrau et ramenés à la même unité.

Enfin, les troisièmes lignes représentent les densités calculées par les formules empiriques.

| | — 30°. | — 20°. | — 10°. | 0°. | + 10°. | + 20°. | + 30°. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | *Vapeur saturée.* | | | | |
| Lu sur la courbe........ | 0,0360 | 0,0530 | 0,0730 | 0,0990 | 0,138 | 0,204 | 0,348 |
| D'après M. Sarrau...... | 0,0378 | 0,0527 | 0,0736 | 0,0999 | 0,1386 | 0,1982 | 0,3472 |
| Calculé par la formule... | 0,0385 | 0,0522 | 0,0718 | 0,0997 | 0,1379 | 0,2035 | 0,355 |
| | | | *Liquide.* | | | | |
| Lu sur la courbe........ | 1,032 | 0,999 | 0,960 | 0,912 | 0,842 | 0,751 | 0,530 |
| D'après M. Sarrau ...... | 1,076 | 1,019 | 0,950 | 0,878 | 0,785 | 0,676 | 0,461 |
| Calculé par la formule... | 1,033 | 0,997 | 0,961 | 0,911 | 0,847 | 0,754 | 0,556 |

(¹) Sarrau, *Comptes rendus*, t. CI, p. 941, 994 et 1145.

Pour la densité de la vapeur, l'accord est très satisfaisant. Quant




Fig. 3.

au liquide, à raison des difficultés qu'on éprouve en opérant à basse température, on peut dire que, au-dessous de zéro, il y a

concordance entre nos nombres et ceux de M. Sarrau. Au-dessus de zéro nos nombres sont plus grands.

En résumé, les méthodes que nous venons de décrire peuvent être appliquées à tous les gaz dont le point critique est plus élevé que la température de congélation du mercure.

Dans la construction graphique des densités, chaque corps donne deux courbes qui semblent se raccorder au point critique. Si l'on cherche les milieux des cordes verticales, on trouve qu'ils sont très sensiblement sur les droites peu inclinées sur l'axe des abscisses.

On voit donc qu'au point critique la densité du liquide est égale à celle de sa vapeur; de là un moyen pratique de déterminer graphiquement la densité au point critique quand on connaît la température critique : on trouve ainsi pour

| | |
|---|---|
| Acide carbonique........... | 0,46 |
| Protoxyde d'azote......... | 0,41 |
| Éthylène.................. | 0,22 |

Enfin, l'examen des courbes montre ce qu'on avait déjà signalé, c'est que la dilatation du gaz liquéfié est plus grande que celle du gaz lui-même ([1]).

III. *Application aux chaleurs latentes de vaporisation.* — Les quantités que nous avons mesurées, la densité des vapeurs saturées, et la densité des gaz liquéfiés sous la pression de la vapeur saturée, permettent le calcul de la chaleur latente de vaporisation, connaissant la variation de la force élastique maximum de la vapeur.

On sait, en effet, que l'on a, d'après la Thermodynamique, la formule suivante

$$L = \frac{T}{E}(u' - u)\frac{dp}{dt},$$

où

L est la chaleur latente de vaporisation à $t^\circ$;

([1]) Ces courbes ne représentent que la marche du phénomène; pour les nombres, se reporter aux Tableaux contenus dans le texte.

T la température absolue, ou approximativement $273 + t$;
E l'équivalent mécanique de la chaleur;
$u$ le volume spécifique du liquide à $t^{\circ}$;
$u'$ le volume spécifique de la vapeur saturée à $t^{\circ}$;
$p$ la pression due à la tension maximum de la vapeur.

On a effectué le calcul pour l'acide carbonique et le protoxyde d'azote, en se servant des Tables de Regnault pour les tensions maxima des vapeurs.

Pour simplifier, on a calculé la dérivée $\frac{dp}{dt}$ par la formule

$$\frac{p_{t+5} - p_{t-5}}{10},$$

qui est très approchée.

$u$ et $u'$ ont été formés au moyen des densités lues sur les courbes du tracé graphique.

Toutes les quantités sont exprimées dans le système du kilogrammètre. L'équivalent mécanique de la chaleur E a été pris égal à 425.

*Acide carbonique*. — Nous ne nous sommes pas contentés de calculer la chaleur latente de vaporisation d'après les nombres que l'expérience nous a fournis; nous l'avons aussi calculée en nous servant des nombres de M. Sarrau pour $u$, $u'$ et $\frac{dp}{dt}$; il y a, comme on peut le constater, accord entre les deux séries de nombres (¹):

(¹) Les valeurs de $u$ et $u'$ du Tableau sont relatives à nos expériences. M. Sarrau n'ayant donné qu'un certain nombre de valeurs de $u$, $u'$ et $p$, nous avons calculé toutes celles qui nous manquaient au moyen de l'équation caractéristique de $CO^2$ qu'il a publiée.

| $t$. | $u$. | $u'$. | $\frac{dp}{dt}$. | D'après les nombres lus sur la courbe. | D'après M. Sarrau. | Calculé par la formule. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ° | | | kg | | | |
| +31... | $\frac{1}{460}$ | $\frac{1}{460}$ | » | 0 | 0 | 0 |
| +30... | $\frac{1}{530}$ | $\frac{1}{348}$ | 16634,160 | 11,60 | 8,43 | 10,86 |
| +25... | $\frac{1}{684}$ | $\frac{1}{254}$ | 15495,861 | 26,89 | » | 26,34 |
| +20... | $\frac{1}{751}$ | $\frac{1}{204}$ | 14351,583 | 35,33 | 34,63 | 35,30 |
| +15... | $\frac{1}{800}$ | $\frac{1}{167}$ | 13206,626 | 42,40 | » | 42,13 |
| +10... | $\frac{1}{843}$ | $\frac{1}{138}$ | 12085,587 | 48,76 | 46,81 | 47,75 |
| + 5... | $\frac{1}{880}$ | $\frac{1}{114}$ | 10997,028 | 54,25 | » | 52,55 |
| 0... | $\frac{1}{912}$ | $\frac{1}{99}$ | 9937,551 | 57,48 | 55,95 | 56,75 |
| — 5... | $\frac{1}{937}$ | $\frac{1}{85}$ | 8923,737 | 60,19 | » | 60,45 |
| —10... | $\frac{1}{961}$ | $\frac{1}{73}$ | 7962,109 | 62,38 | 62,87 | 63,76 |
| —15... | $\frac{1}{980}$ | $\frac{1}{62,8}$ | 7063,674 | 63,89 | » | 66,64 |
| —20... | $\frac{1}{1000}$ | $\frac{1}{53}$ | 6217,968 | 66,15 | 68,13 | 69,30 |
| —25... | $\frac{1}{1016}$ | $\frac{1}{42,3}$ | 5599,05 | 72,23 | » | 71,82 |
| —30... | » | » | » | » | 73,88 | 74,06 |
| —50... | » | » | » | » | 81,81 | 80,67 |

Les nombres de la dernière colonne ont été calculés au moyen de la formule

$$L^2 = 118,485(31 - t) - 0,4707(31 - t)^2,$$

qui représente un arc d'ellipse quand les températures sont portées en abscisses et les chaleurs latentes en ordonnées.

Cette formule, représentant aussi bien les chaleurs latentes calculées par les nombres de M. Sarrau que les autres, paraît devoir donner avec exactitude la variation de la chaleur latente de vaporisation.

Quoi qu'il en soit, les nombres qu'elle donne perdraient beaucoup de leur valeur si trois expériences de Regnault (1), malheureusement trop rapprochées, ne permettaient une vérification précieuse de la formule. Les nombres fournis par l'expérience et par la formule sont comparés dans le Tableau suivant :

(1) Regnault, *Relation des expériences pour déterminer*, etc., t. III, p. 925.

| | $t$. | D'après Regnault. | Par la formule. |
|---|---|---|---|
| I.......... | 15°,627 | 39,53 | 41,35 |
| II......... | 17,575 | 38,82 | 38,80 |
| III........ | 16,751 | 39,42 | 39,90 |

L'accord est aussi satisfaisant que possible, étant données les difficultés que Regnault a rencontrées dans la détermination expérimentale de ses nombres.

*Protoxyde d'azote.* — Le calcul a été fait comme nous l'avons indiqué; le Tableau ci-joint donne les résultats de ce calcul, ainsi que les données qui ont servi à l'effectuer.

| $t$. | $u$. | $u'$. | $\frac{dp}{dt}$. | Chaleur latente. | Calculé par la formule. | Δ. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ° | | | kg | | | |
| +36,4. | $\frac{1}{410}$ | $\frac{1}{410}$ | » | 0 | 0 | 0 |
| +35,0. | $\frac{1}{480}$ | $\frac{1}{340}$ | 15845,36 | 9,87 | 13,51 | +3,64 |
| +30,0. | $\frac{1}{610}$ | $\frac{1}{228}$ | 14452,30 | 27,81 | 28,37 | +0,56 |
| +25,0. | $\frac{1}{689}$ | $\frac{1}{182}$ | 13165,60 | 37,29 | 37,16 | —0,13 |
| +20,0. | $\frac{1}{747}$ | $\frac{1}{152}$ | 11972,392 | 43,25 | 43,71 | +0,46 |
| +15,0. | $\frac{1}{793}$ | $\frac{1}{127}$ | 10883,82 | 48,80 | 48,93 | +0,13 |
| +10,0. | $\frac{1}{834}$ | $\frac{1}{108}$ | 9891,28 | 53,08 | 53,21 | +0,13 |
| + 5,0. | $\frac{1}{869}$ | $\frac{1}{93,5}$ | 8966,845 | 56,65 | 56,76 | +0,11 |
| 0,0. | $\frac{1}{903}$ | $\frac{1}{80}$ | 8126,004 | 59,50 | 59,71 | +0,21 |
| — 5,0. | $\frac{1}{927}$ | $\frac{1}{69}$ | 7356,13 | 62,20 | 62,16 | —0,04 |
| —10,0. | $\frac{1}{950}$ | $\frac{1}{60}$ | 6656,928 | 64,25 | 64,15 | —0,10 |
| —15,0. | $\frac{1}{968}$ | $\frac{1}{53}$ | 6008,780 | 65,04 | 65,72 | +0,68 |
| —20,0. | $\frac{1}{987}$ | $\frac{1}{46}$ | 5421,594 | 66,90 | 66,92 | +0,02 |
| —25,0. | » | $\frac{1}{39}$ | » | » | 67,75 | » |
| —30,0. | » | $\frac{1}{34}$ | » | » | 68,24 | » |

Les nombres de l'avant-dernière colonne ont été calculés au moyen de la formule

$$L^2 = 131,75(36,4 - t) - 0,928(36,4 - t)^2.$$

Ces nombres, ainsi que ceux calculés par la formule de la *Thermodynamique,* donnent les valeurs *probables* de la chaleur latente de vaporisation du protoxyde d'azote. Si on les compare à celle

de l'acide carbonique, on remarquera facilement qu'à égale distance du point critique, AzO et $CO^2$ ont sensiblement la même chaleur latente de vaporisation.

On sait d'ailleurs que ces deux corps ont des propriétés physiques extrêmement voisines.

---

## SÉANCE DU 16 JUILLET 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SÉBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 2 juillet est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Grelley, Directeur de l'École supérieure du Commerce, à Paris.
Joly, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Paris.
Malosse (Dr), Agrégé à l'École de Pharmacie de Montpellier.
Nodon (Albert), Ingénieur civil, à Paris.

M. le Président fait hommage à la Société, de la part de M. Wolf, d'un Ouvrage intitulé : *Les hypothèses cosmogoniques. Examen des théories scientifiques modernes sur l'origine des mondes*, suivi de la traduction de la *Théorie du ciel, de Kant*; et, de la part de M. Caspari, du *Rapport de la Commission nautique spéciale : Phares électriques*.

M. le Secrétaire général présente, de la part de M. G. Chaperon, une Note sur la théorie mécanique des piles. L'auteur essaye dans ce travail de généraliser des relations données en 1881, entre les tensions de dissociation des composés constituant un couple voltaïque réversible et la force électromotrice ou la différence entre les chaleurs chimique et voltaïque dans ce couple.

L'expression du travail transformable nécessaire pour passer, à température constante, de l'un des états du couple à l'autre, est étendue au cas général de la dissociation hétérogène par une méthode qui s'applique à d'autres questions de Mécanique chimique.

On étudie ensuite un cycle permettant d'étendre les résultats au cas où le couple fonctionne à une température où les tensions de dissociation sont insensibles : le principe de Carnot appliqué à ce cycle montre l'indépendance des deux chaleurs en général; il indique de plus que la chaleur chimique ne saurait être très supérieure à la chaleur voltaïque pour un élément réversible qui met en jeu des composés *ne se dissociant qu'à des températures très élevées* (et satisfaisant, du reste, avec leurs composantes

aux lois de Kopp et Woestyn). L'action du dissolvant, examinée en dernier lieu, ne modifierait pas notablement ces résultats, *si l'élément restait réversible*.

On est donc conduit à penser que les systèmes électrochimiques si nombreux, où la chaleur chimique l'emporte beaucoup sur la chaleur voltaïque, sont en général *non réversibles*, alors même qu'ils se composent de deux métaux plongés chacun dans la dissolution d'un de ses sels.

*Exemple :* $Fe\,SO^4Fe$, $SO^4Cu\,Cu - Ni\,SO^4Ni$, $SO^4Cu\,Cu$.

M. Rivière communique, au nom de M. Chappuis et au sien, les résultats des recherches qu'ils ont entreprises sur la réfraction des gaz à l'aide d'une méthode qui a été exposée dans la séance du 16 novembre 1883.

A 21° et jusqu'à $19^{atm}$, l'indice $n$ de l'air sous la pression $p$, exprimée en mètres de mercure, est donné par la formule

$$n - 1 = 0,0003554\,p(1 + 0,00058\,p).$$

A la même température et dans les mêmes limites de pression, on a trouvé pour l'acide carbonique

$$n - 1 = 0,0005400\,p(1 + 0,0076\,p + 0,0000050\,p^2).$$

Le cyanogène a été étudié à diverses températures, et chaque série d'expériences a été résumée par une formule de même forme que pour l'air. Comme indices à 0° et sous la pression 0,76, on a obtenu les nombres suivants :

| | |
|---|---|
| Air | 1,0002927 |
| Acide carbonique | 1,000448 |
| Cyanogène | 1,000825 |

La comparaison de la réfraction à la compressibilité a montré, pour l'air et pour l'acide carbonique, que, dans les limites des expériences, le phénomène était également bien représenté par les formules

$$\frac{n-1}{d} = \text{const.} \qquad \text{et} \qquad \frac{n^2-1}{(n^2+2)d} = \text{const.},$$

dans lesquelles $d$ désigne le poids spécifique.

En ce qui concerne le cyanogène, les données relatives à la compressibilité sont insuffisantes et les auteurs se proposent de faire l'étude de cette propriété.

M. Scola présente, au nom de M. Ruggieri et au sien, une *nouvelle amorce électrique, à projection,* pour l'inflammation des mines. La nouvelle construction de cette amorce électrique à fil interrompu, dite *de tension,* permet d'obtenir une grande régularité dans l'écartement de la solution de continuité, entre laquelle éclatera l'étincelle de l'appareil de mise à feu. Cette étincelle électrique enflamme la pâte fusante de l'amorce et, par

suite, allume la mèche ou étoupille contenue dans le petit tube de carton qui entoure l'amorce. Les gaz, produits pendant cette combustion rapide, projettent, avec une grande vitesse, la mèche enflammée jusqu'au fond du trou de mine; la mine éclate.

L'amorce se place, à la manière d'un fausset, à l'entrée du trou de mine.

L'emploi de ces nouvelles amorces assure l'inflammation des mines et empêche tout accident résultant d'un retard dans l'inflammation.

M. E. Ducretet fait présenter par M. Scola un nouvel appareil destiné à *vérifier rapidement les amorces électriques à fil interrompu,* de façon à éliminer, avec certitude, toutes celles qui pourraient être défectueuses.

Ces amorces doivent être construites de telle sorte que l'étincelle éclate au milieu de la composition fusante. Il faut donc s'assurer :

1° Que les deux fils placés à l'intérieur de l'amorce ne sont pas en contact;

2° Que ces fils sont cependant assez rapprochés pour que l'étincelle éclate entre eux;

3° Que l'amorce est chargée.

L'appareil de M. E. Ducretet se compose de quelques éléments Leclanché (deux suffisent). Le courant traverse un interrupteur rapide, à mouvement d'horlogerie, puis une bobine à fil fin; en dérivation sur cette bobine, se trouvent un téléphone et deux coupelles de mercure dans lesquelles plongent les fils de sortie de l'amorce : elle complète le deuxième circuit.

Lorsqu'on met en mouvement l'interrupteur et qu'on plonge dans chacune des coupelles un des fils de l'amorce, on constate que : dans le cas où il y a contact métallique entre les fils de l'amorce, on perçoit dans le téléphone *un bruit insupportable.* Si les deux fils sont complètement isolés, cas d'une amorce non chargée, le téléphone *reste muet;* et, enfin, si l'amorce est de bonne qualité, on perçoit *une faible crépitation* résultant du passage du courant électrique à travers la matière fusante de l'amorce.

Ce son est produit par l'extra-courant, à chacune des interruptions du courant, dans le circuit principal.

L'appareil permet de vérifier, dans un temps très court, un certain nombre d'amorces dont la résistance peut varier entre 1 et 25 mégohms.

M. Émile Reynier expose à la Société un moyen de gouverner le *foisonnement* du plomb dans les accumulateurs.

Depuis que les plaques plissées de l'auteur sont soumises, avant la *formation,* au décapage nitrique de M. Gaston Planté, leur capacité électrochimique s'est accrue considérablement. Le foisonnement de formation a nécessairement augmenté dans la même proportion; le cadre fondu est devenu insuffisant pour le contenir. Les plaques se sont élargies jusqu'à rompre leur entourage. Parfois le plissé est sorti de ses plans-limites, faisant saillie de côté et d'autre, par des bosses qui peuvent accidentellement produire des contacts. On a restreint ces expansions en ménageant dans

les plissés des vides que le foisonnement vient remplir; mais ce moyen ne peut être pratiqué que modérément, car il faut conserver une certaine compression des produits de formation dans les plis de la plaque.

Ne pouvant supprimer radicalement les mouvements du plissé, M. Reynier a cherché à les gouverner, de manière à les rendre peu ou point nuisibles; il y est parvenu en *bombant* les plaques. Le foisonnement allonge ou raccourcit les rayons de courbure des électrodes bombées, mais il ne peut les bossuer. Le bombement a en outre l'avantage d'augmenter la raideur et la solidité des plaques.

Ce nouveau perfectionnement est largement expérimenté, depuis plusieurs semaines, à l'usine Blanc, à Marly (Suisse); ces essais confirment les résultats favorables obtenus d'abord dans le laboratoire de l'auteur. Le bombement des électrodes sera donc désormais pratiqué dans tous les accumulateurs industriels. La solidité déjà grande des plaques plissées sera ainsi augmentée encore, et les contacts accidentels, déjà rares, seront désormais radicalement évités.

---

## SÉANCE DU 19 NOVEMBRE 1886.

PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 juillet est lu et adopté.

M. le Président annonce à la Société les décès de MM. Meurien, pharmacien à Lille, et Jules Duboscq, constructeur d'instruments de précision, survenus tous deux pendant la période des vacances.

Il rappelle que M. Jules Duboscq, praticien aussi instruit que modeste, a rendu de grands services à la Science par l'aide éclairée qu'il a donnée aux nombreux savants qui s'adressaient à lui pour la construction ou l'étude de nouveaux appareils. M. Duboscq, malgré l'état de sa santé, a, jusqu'à ses derniers jours, apporté à la Société de Physique un concours empressé. Il était toujours prêt à répondre à l'appel pour augmenter l'éclat de nos séances et nous apportait souvent la primeur des découvertes faites dans ses ateliers dans le domaine de l'Optique, dont il s'était fait une spécialité.

L'époque de sa mort, survenue à un moment où beaucoup d'entre nous étaient absents de Paris, a seule empêché la Société de Physique d'être représentée à ses obsèques par un plus grand nombre de ses membres.

M. le Secrétaire général signale dans la correspondance deux Notes de M. Pellerin, relatives à l'induction.

M. Leduc rappelle les deux méthodes qu'il a décrites dans la séance du 19 février 1886, et fait observer, relativement à la méthode fondée sur

la variation de la résistance du bismuth, que les échantillons de ce métal les plus sensibles à l'action du magnétisme sont ceux que l'on obtient par l'électrolyse de l'azotate de bismuth. Ceux que l'on produit par la décomposition lente du citrate ammoniacal sont de 20 à 25 fois moins sensibles.

M. Leduc a employé avantageusement ces méthodes pour étudier le champ produit entre les surfaces polaires d'un fort électro-aimant de Faraday, d'autant plus que la méthode fondée sur l'induction produite dans un toron par le renversement du champ peut conduire dans ce cas à des erreurs qui dépassent 5 pour 100, et que les autres méthodes fondées sur l'induction présentent ici d'assez grandes difficultés matérielles.

Les variations du champ en fonction de l'intensité du courant qui anime l'électro-aimant sont représentées par des courbes mises sous les yeux de la Société. La formule de Frœlich, $M = \frac{C}{a + bC}$, s'applique assez bien pour une petite distance des surfaces polaires; elle ne convient plus si cette distance dépasse $0^m,01$.

Tant que la valeur du champ ne dépasse pas 6000 C. G. S., on ne commet pas une erreur supérieure à 6 pour 100 en admettant que la valeur du champ est en raison inverse de la distance des surfaces polaires. Au contraire, si le champ dépasse 20000, on ne le réduit pas même de moitié en multipliant cette distance par 8.

M. Leduc termine par quelques considérations sur le champ des machines dynamos, et montre que :

1° Il est avantageux d'augmenter la distance d'entre-fers, tant qu'elle ne dépasse pas la moitié de la largeur des pièces polaires;

2° Si l'on veut doubler cette distance sans changer la valeur du champ, il faut au moins tripler le travail électrique dépensé;

3° Les armatures de faible masse sont les plus avantageuses.

M. Mascart demande si les erreurs de 5 à 6 pour 100 que M. Leduc dit avoir constatées par la méthode d'induction ne tiennent pas à la manière dont cette méthode était appliquée.

M. Leduc répond que ces erreurs sont systématiques et qu'il se réserve d'en indiquer les causes dans une Communication ultérieure.

M. Cabanellas dit qu'il peut répondre à la question de M. Mascart depuis ses mesures de précision avec la collaboration de M. Arnoux et le concours de M. Bary sur les flux développés dans un système magnétique de $400^{cm^3}$. Il a observé des durées variant de $15^s$ à $20^s$ pour l'établissement des $\frac{99}{100}$ du flux, une demi-heure pour la majeure partie du dernier centième et plusieurs heures pour le reste. L'erreur est donc d'autant plus grande que la durée d'oscillation du galvanomètre est plus faible. Avec anneaux fermés, on doit choisir la fermeture. M. Leduc a tenu compte du champ et du volume d'entre-fer; la densité du courant maximum de l'in-

duit est une troisième coordonnée non moins importante du pouvoir d'une dynamo.

M. Joubert fait remarquer que le fait qui vient d'être signalé, savoir que dans les gros électro-aimants l'aimantation met un temps appréciable à atteindre son maximum, est connu depuis longtemps et qu'il a été signalé à plusieurs reprises par Faraday. Dans les expériences de polarisation rotatoire, on peut suivre, pour ainsi dire à l'œil, le mouvement progressif de rotation du plan de polarisation.

*Transport électrique des forces motrices.*

M. Hippolyte Fontaine fait l'historique de la question.

Il rappelle que, dès 1873, il avait entrevu la possibilité de transporter de grandes forces à de grandes distances, avec un rendement satisfaisant. Ses expériences à l'Exposition de Vienne sont bien connues; il n'est cependant pas inutile de rappeler les termes mêmes dont il s'est servi alors pour les relater :

« Les machines Gramme, écrivait-il (*Revue industrielle,* 1873, p. 658), ont donné lieu, à Vienne, à une expérience qui pourra avoir un jour des applications très importantes. Une première machine était actionnée par un moteur à gaz, l'électricité produite était envoyée dans une deuxième machine, laquelle actionnait une petite pompe centrifuge. Comme nous n'avions aucun appareil de mesure, il ne nous a pas été possible de déterminer l'effet utile; cependant ces premiers essais ont démontré non seulement la possibilité de transmettre une force à longue distance, mais ils ont fait voir que le rendement était notablement plus grand qu'avec l'emploi d'autres appareils. »

M. Hippolyte Fontaine estime que la force était de $\frac{1}{3}$ de cheval et la distance d'environ 7 ohms.

A Philadelphie, en 1876, la Société Gramme exposait un transport de force de 2 à 3 chevaux traversant une résistance de 20 ohms.

A Paris, en 1878, la même Société exposait une véritable distribution de force : une même génératrice actionnait, simultanément ou séparément, une pompe, un ventilateur et une presse typographique.

Toutes ces démonstrations publiques n'ont pas réussi à attirer l'attention des manufacturiers sur le nouveau mode de transport des forces; il a fallu les grandes expériences de labourage par l'électricité, réalisées à Sermaize en 1879, par MM. Chrétien et Félix, pour faire entrer la question dans le domaine de la pratique industrielle. Les machines Gramme employées par MM. Chrétien et Félix tournaient à 1400 tours par minute et produisaient un courant d'environ 20 ampères et 400 volts.

A partir de 1879, les applications industrielles se développent rapidement et, à l'Exposition d'Électricité en 1881, on comptait plus de 50 machines employées à des transports de forces ou, pour mieux dire, à des transmissions électriques.

M. Hippolyte Fontaine ne croit pas que l'utilisation, au loin, des chutes d'eau soit aussi avantageuse qu'on se plaît souvent à le dire. En tenant compte des frais d'installation des moteurs hydrauliques et des dynamos, de la construction des barrages, des canaux de dérivation, de l'entretien, de l'intérêt des capitaux engagés, du rendement des dynamos, etc., etc., on arrive vite à une dépense totale supérieure à celle occasionnée par une machine à vapeur de même puissance, surtout quand on tient compte du prix de la chute elle-même, laquelle manque rarement de propriétaire. Tout autre est la question envisagée au point de vue des transmissions. Dans ce cas, l'intervention de l'électricité présente de nombreux avantages sur les systèmes actuellement en usage.

Si M. Hippolyte Fontaine a entrepris de nouvelles expériences de transport à grande distance, c'est seulement pour démontrer que les machines étudiées et construites par M. Gramme sont plus légères, moins coûteuses, meilleures, à tous les points de vue, que celles récemment expérimentées au chemin de fer du Nord.

L'installation faite au laboratoire de la *Compagnie électrique,* avec le concours de MM. Nysten, Dehenne et Chrétien, se compose de 7 machines Gramme fabriquées par l'inventeur, sur un modèle unique. Chacune d'elles développe, à la vitesse de 1400 tours, une force électromotrice de 1900 volts et une intensité de 10 ampères. La résistance de l'induit est de $4^{ohms},75$; celle de l'inducteur de $6^{ohms},50$. Le poids des 7 machines est de 8400 kilogrammes; leur prix total, de 16450 francs. Le générateur comprend 4 machines recevant le mouvement par friction. Ces machines oscillent sur un axe placé en dessous de leur socle. Des ressorts, convenablement disposés, règlent la pression des galets contre les poulies de commande.

L'appareil récepteur comprend 3 machines placées bout à bout et reliées par des manchons d'entraînement du système Raffard.

La résistance de la ligne interposée entre l'appareil générateur et l'appareil récepteur est de 100 ohms.

Les génératrices tournent à 1298 tours, les réceptrices à 1120.

La force dépensée est de 96 chevaux. La force transmise et constatée par le frein de Prony est de 50 chevaux, le rendement dépasse 52 pour 100.

M. Hippolyte Fontaine, après avoir résumé les principaux avantages des dispositions adoptées au laboratoire de la Compagnie électrique, donne quelques renseignements sur les installations industrielles suivantes, faites récemment par cette Compagnie.

A l'Hôtel de Ville de Paris, 2 machines Gramme génératrices, placées dans le local réservé à la force motrice, actionnent 35 réceptrices disséminées dans l'ensemble de l'édifice. Chaque génératrice débite un courant de 50 ampères et de 110 volts; toutes les réceptrices sont de même type, mais elles sont garnies de fil plus ou moins fin, suivant la puissance qu'elles ont à développer. Cette puissance varie de 7 à 40 kilogrammètres. Les réceptrices sont toutes en dérivation sur le circuit principal; elles fonction-

nent, depuis trois ans déjà, très régulièrement et sont indépendantes les unes des autres.

Au chemin de fer de l'Est, dans les nouveaux bâtiments de la rue Lafayette, on a installé une machine Gramme génératrice qui donne le courant à 9 réceptrices actionnant chacune un outil mécanique. La puissance des réceptrices varie de $\frac{1}{2}$ cheval à 5 chevaux. Des transmissions par courroies avaient été primitivement montées dans cet atelier, mais elles donnaient des vibrations telles qu'il était impossible de travailler aux étages supérieurs.

La transmission électrique supprime ces vibrations et ont cet autre avantage de permettre de tirer un meilleur parti de l'espace, grâce à la possibilité d'orienter les outils, à volonté.

A l'entrepôt d'Aubervilliers se trouve une génératrice Gramme de 20 chevaux et 5 réceptrices. Quatre de ces réceptrices, de la puissance de 1 cheval, actionnent des pompes à mélasse; la cinquième actionne un appareil de levage et développe un travail variant de 0 à 4 chevaux. Cette dernière tourne sensiblement à la même vitesse à blanc et à pleine charge.

Aux entrepôts de Roubaix, la Compagnie électrique a placé une génératrice de $40^{chx}$ envoyant le courant dans trois réceptrices produisant une puissance de $5^{chx}$ chacune à 900 tours et dans trois autres réceptrices produisant chacune $4^{chx}$ à 1200 tours.

La force électromotrice aux bornes de la génératrice est de $350^{volts}$.

M. Hippolyte Fontaine indique les difficultés qu'on rencontre en pratique lorsqu'on veut faire des distributions de force avec des différences de potentiel dépassant $300^{volts}$; il mentionne, en passant, la solution proposée par M. Gramme pour transformer les courants de tension en courants de quantités, et réciproquement.

Le transformateur Gramme, présenté à l'Académie des Sciences dès le 23 novembre 1874 (il y a douze ans), se compose d'un anneau dédoublé avec une série de bobines à gros fil et une série de bobines à fil fin, tournant devant les pôles d'un aimant ou d'un électro-aimant. L'inventeur l'a également exécuté en se servant de deux bobines placées sur le même arbre, l'une à fil fin, l'autre à gros fil. En envoyant le courant à travers les bobines à fil fin, l'arbre tourne, et il se développe dans les bobines à gros fil un courant de grande intensité et de faible force électromotrice.

En terminant, M. Hippolyte Fontaine combat cette opinion que la vitesse donnée par M. Gramme à ses machines est exagérée. Il existe, dit-il, plus de 1000 machines Gramme tournant à des vitesses de 1200 à 1500 tours, et cela depuis dix ans, sans avoir exigé la moindre réparation. On ne peut donc pas dire que cette vitesse présente de bien grands inconvénients en pratique.

Ce n'est d'ailleurs pas un des moindres mérites de l'inventeur d'avoir perfectionné suffisamment la partie mécanique de ses appareils, pour leur

permettre d'atteindre une allure aussi rapide, sans aucune détérioration, même après une longue période de temps.

M. Cabanellas remarque que M. Fontaine paraît regarder comme inséparables les hauts potentiels et le fil fin; dans les grands transports, les seuls économiques, à longue portée, on aura hauts potentiels et dynamos à gros fil.

Le transport de 50$^{chx}$ avec 7 dynamos prouve la valeur du système indiqué et discuté au Congrès de 1881 par M. Cabanellas : combiner les données du transport de façon que chaque unité, réceptrice comme génératrice, puisse avoir l'unique régime *allure-courant* correspondant au maximum pratique de rendement et d'utilisation des matériaux.

M. Cabanellas avait cru et publié que M. Fontaine avait eu en 1873 la priorité du fait et de l'idée du transport avec deux dynamos. Il est curieux de retrouver dans les brevets de Bessolo en 1853 et 1855, non seulement cette idée, mais celles de la navigation, de la traction sur chemins de fer et sur routes avec sources d'électricité fixes, et de l'utilisation électrique des chutes d'eau et des vents.

---

## *Étude du champ magnétique produit par un électro-aimant de Faraday;* par M. A. Leduc.

L'étude du phénomène de Hall [1] nécessitait la connaissance exacte du champ magnétique produit entre les surfaces polaires de l'électro-aimant de Faraday dont je me suis servi pour ces expériences.

Au début, j'ai mesuré ce champ en y faisant tourner de 180°, autour d'un de ses diamètres, un toron dont le plan était primitivement normal aux lignes de force. Tant que la distance des pièces polaires dépasse 2$^{cm}$, cette méthode n'a d'autre inconvénient que d'exiger le secours d'un aide de laboratoire. Pour des distances plus petites, je m'adressai à la méthode employée par M. Rowland et plusieurs autres savants, qui consiste à produire un flux d'induction, dans un toron placé comme tout à l'heure, par le renversement du champ magnétique.

---

[1] Voir *Séances de la Société de Physique*, 1886; p. 42. C'est par erreur que cet article *Sur le Phénomène de Hall* a été inséré à cette place.

La comparaison de mes nouveaux résultats avec ceux que j'avais obtenus précédemment ne me satisfit pas. Je ne me rendis pas compte à cette époque de la cause d'erreur qui pouvait affecter l'une ou l'autre de ces méthodes et j'abandonnai l'une et l'autre pour en créer une nouvelle fondée sur le même principe que le galvanomètre à mercure de M. Lippmann. Peu après, j'eus l'idée d'appliquer à la mesure des champs très étroits la variation de la résistance du bismuth. La première de ces méthodes, qui a l'avantage de fournir des mesures absolues, me donna des résultats presque identiques à ceux que j'avais obtenus par la rotation d'un toron. Cette confrontation avait un certain intérêt pour la nouvelle méthode et m'apprit en outre que la méthode du renversement du champ n'était pas applicable dans le cas présent à cause de la durée considérable de la période variable du courant. Le temps qu'il faut à ce courant pour recouvrer les 0,99 de sa valeur, après le renversement, peut dépasser en effet trente secondes, et se trouve compris, dans les cas moyens, entre quatre et douze secondes. Si l'on peut appliquer au courant induit dans le toron et à un galvanomètre quelconque les observations de M. Ledeboer relatives à la décharge des condensateurs dans un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, il suffirait, pour que l'erreur ne dépassât point 1 pour 100, d'employer un galvanomètre dont l'équipage eût une durée d'oscillation supérieure à deux minutes. Point n'est besoin d'insister sur la difficulté qu'il y a à obtenir et à utiliser de pareilles durées d'oscillations.

Je ne reviendrai pas ici sur les méthodes auxquelles il vient d'être fait allusion et qui ont été décrites à plusieurs reprises. C'est par ces deux méthodes que j'ai obtenu les résultats suivants.

Dans notre électro-aimant les noyaux ont un diamètre extérieur de $0^m,16$, un diamètre intérieur de $0^m,04$ et une longueur de $0^m,28$. Ces noyaux sont recouverts de vingt-sept tours par centimètre de longueur d'un fil de cuivre de $0^m,003$ de diamètre (à nu). J'ai adapté à cet appareil des pièces polaires de masse et de forme variées.

J'ai constaté que la cavité cylindrique des noyaux (qui permet de faire des expériences sur la polarisation de la lumière) n'a pas

d'influence sur le champ produit entre les pièces polaires; on n'altère aucunement la valeur de ce champ en remplissant de fer cette cavité.

J'ai examiné successivement l'influence

1° De l'intensité du courant qui circule dans les hélices magnétisantes;

2° De la distance des surfaces magnétiques;

3° De la masse et de la forme des pièces polaires.

1. *Variation de l'intensité du courant.* — Les expériences les plus complètes ont été faites entre des armatures cylindriques ayant $0^m,07$ de diamètre et $0^m,023$ d'épaisseur. Tant que leur distance n'était pas inférieure à $1^{cm}$, j'ai disposé entre elles, normalement aux lignes de force, l'explorateur de l'appareil manométrique traversé par un courant convenable. Pour les distances inférieures à $0^m,01$, j'ai employé quelques-uns des filaments de bismuth dont la variation de résistance avait été préalablement étudiée. J'ai pu rapprocher aisément les surfaces polaires à une distance de $0^m,0025$, et j'aurais pu les rapprocher davantage si je n'avais craint de faire une erreur relative trop considérable dans l'évaluation de cette distance.

Quelle que soit cette distance, il m'a paru impossible de représenter algébriquement, d'une manière générale, la variation du champ magnétique (en son milieu) en fonction de l'intensité C du courant magnétisant. La formule de Frœlich $M = \frac{mC}{1+\mu C}$ ne convient assez bien que pour les valeurs de C comprises entre 3 et 35 ampères, et si la distance des surfaces polaires ne dépasse pas $1^{cm}$.

Je me suis donc borné à représenter, en général, par des courbes, les résultats de mes expériences, en ayant soin de déterminer chacune d'elles par un grand nombre de points. Le Tableau ci-dessous donne un exemple de la marche du phénomène; il est extrait d'une expérience faite avec une distance de $0^m,02$ entre les surfaces polaires :

| C. | M. | $\frac{M}{C}$. |
|---|---|---|
| 1,55 | 1082 | 698 |
| 2,38 | 1665 | 700 |
| 2,87 | 2070 | 721 |
| 3,95 | 2840 | 718 |
| 4,32 | 3015 | 697 |
| 6,28 | 4110 | 654 |
| 8,05 | 4806 | 596 |
| 12,70 | 6570 | 498 |
| 16,90 | 7590 | 447 |
| 30,00 | 10570 | 352 |

On voit que le rapport $\frac{M}{C}$, qui a quelque analogie avec la perméabilité magnétique de Thomson, présente un maximum au voisinage de $3^{amp},3$ et diminue ensuite pour prendre à 30 ampères une valeur inférieure à la moitié de sa valeur maxima.

Le champ produit n'est donc sensiblement proportionnel au courant C que jusque vers 4 ou 5 ampères, et l'on peut admettre pour la valeur du champ jusqu'à cette limite, 700 unités par ampère.

On jugera par le Tableau ci-dessus de l'erreur que l'on commettrait en appliquant la même règle pour des courants plus considérables. Ainsi que nous venons de le voir, cette erreur serait de 50 pour 100 au voisinage de 30 ampères.

Les expériences faites avec des pièces polaires de masse plus considérable et en faisant varier la distance des surfaces magnétiques ont donné lieu à des remarques analogues. Mais :

1° Le maximum de $\frac{M}{C}$ se produit pour des valeurs de C d'autant plus petites (et pour des valeurs de M d'autant plus grandes) que les armatures sont plus rapprochées ;

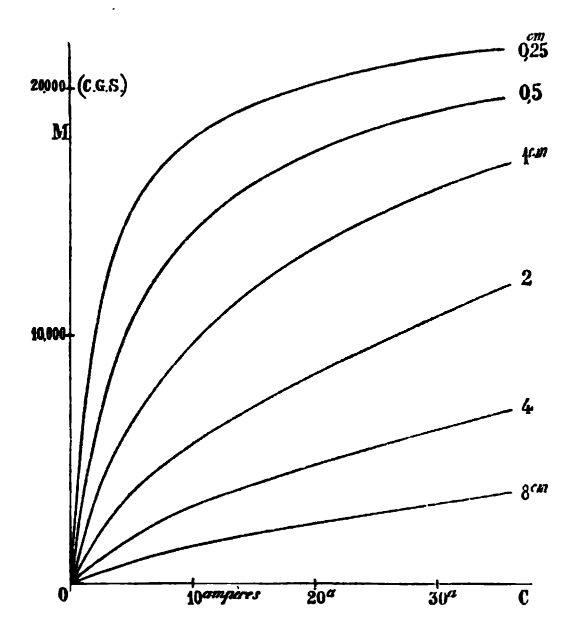
2° La diminution de $\frac{M}{C}$ est d'autant plus rapide que les armatures sont plus rapprochées.

2. *Influence de la distance des surfaces polaires.* — J'ai fait varier cette distance de $0^m,0025$ à $0^m,08$, en la doublant successivement. Tant qu'elle ne dépasse pas $0^m,02$, on peut admettre que le champ est absolument uniforme à l'intérieur des deux troncs

de cône ayant pour grandes bases les surfaces polaires et pour petite base commune un cercle de $0^m,03$ ou même $0^m,04$ de diamètre, placé au milieu du champ normalement à l'axe de l'appareil.

Le champ ne décroît que très lentement quand on s'éloigne de l'axe à l'intérieur du cylindre circonscrit aux pièces polaires.

Il n'en est plus de même lorsqu'on augmente la distance de ces pièces. Ainsi, à la distance de $0^m,04$, on observe que le champ magnétique a, en son milieu, une valeur inférieure de 1 à 2 pour 100 à celle qu'il prend près de l'une des armatures. Pour une distance des armatures de $0^m,08$, cette différence peut dépasser 10 pour 100.




Il est bien clair que, si les surfaces polaires étaient plus étendues, ces différences ne se produiraient que pour des distances plus grandes des armatures.

Je ne prétends point généraliser et appliquer, par exemple, au champ des machines dynamos les résultats que j'ai obtenus avec un certain électro-aimant et des pièces polaires de forme et de dimensions données. Toutefois, il n'est pas sans intérêt de tirer de ces expériences quelques conclusions que les courbes de la figure

(*fig.* 1) et le Tableau ci-dessous mettent en évidence. Ce Tableau est à double entrée, la colonne verticale de gauche indique la distance des surfaces polaires et la rangée horizontale supérieure le courant qui passe dans les hélices de l'électro-aimant. Les nombres situés dans le corps du Tableau mesurant en unités C.G.S. l'intensité magnétique observée au milieu du champ.

| D. | C 2 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|

| D. | C: 2amp. | 4amp. | 8amp. | 16amp. | 32amp. |
|---|---|---|---|---|---|
| m 0,0025.... | 9060 | 13400 | 16930 | 19400 | 21100 |
| 0,005..... | 5400 | 9200 | 12960 | 16130 | 18800 |
| 0,01...... | 2780 | 5460 | 8440 | 12200 | 15830 |
| 0,02...... | 1430 | 2820 | 4800 | 7380 | 10930 |
| 0,04...... | 750 | 1500 | 2750 | 4200 | 6500 |
| 0,08...... | 360 | 720 | 1370 | 2140 | 3400 |

On voit que, si le champ ne dépasse pas 5000 ou 6000, sa valeur est à peu près en raison inverse de la distance des surfaces polaires. Ainsi l'on a obtenu au moyen d'un courant de 2 ampères un champ de 5400 avec une distance de 0,005, et de 1430 avec une distance de 0,02. La loi ci-dessus aurait donné, dans ce dernier cas, le nombre 1350 dont l'erreur n'atteint pas 6 pour 100.

Il n'en est plus de même lorsque le champ varie au delà de 10000 et particulièrement lorsqu'il dépasse 20000. Ainsi, un champ de 21100 n'a pas été réduit de moitié lorsque l'on a multiplié par 8 la distance des armatures.

Si l'on envisage l'application aux machines, il est clair qu'il ne faut pas seulement chercher à obtenir des champs d'une grande intensité, mais bien à rendre maxima, pour un certain travail dépensé, une certaine fonction de cette intensité du champ et de son volume utile, telle que le produit de ces deux grandeurs. Or, si nous désignons par $a$ la distance que l'on doit nécessairement laisser entre la dernière couche de fil de l'induit et la surface polaire de l'inducteur, ce produit est proportionnel à

$$M(D - a) \quad \text{ou} \quad MD \times \left(1 - \frac{a}{D}\right).$$

Chacun de ces facteurs augmente avec D, il en est de même de leur produit. On voit donc que le champ est obtenu avec d'autant

plus d'économie que la distance entre l'anneau et les inducteurs est plus considérable. Il ne faudrait pas cependant que cette distance devînt plus grande que la moitié de la largeur des pièces polaires, car la valeur moyenne du champ décroîtrait alors plus vite que n'augmenterait cette distance.

Proposons-nous maintenant d'obtenir un champ d'une certaine intensité, et examinons, par exemple, dans quel rapport croîtra la dépense d'énergie (EC) si l'on veut doubler la valeur d'un champ précédemment obtenu sans changer la distance des surfaces polaires.

Il est clair que si l'on reste dans les limites où ce champ est proportionnel au courant qui sert à le produire, il suffira de doubler le champ magnétisant, et par suite de multiplier par trois environ la dépense d'énergie.

Si l'on part, au contraire, d'une valeur du champ telle que celui-ci ait cessé d'être proportionnel au courant, nos courbes montrent qu'il faudra tripler le champ magnétisant, et il est facile d'établir que la dépense d'énergie se trouvera multipliée par un nombre supérieur à cinq.

Les champs les plus faibles sont donc les plus économiques, et il importe beaucoup de ne pas dépasser la limite, variable avec la distance d'entre-fers, pour laquelle le champ magnétique cesse d'être proportionnel à la force magnétisante.

---

## SÉANCE DU 3 DÉCEMBRE 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 novembre est lu et adopté.

M. le Président annonce qu'une souscription nationale est ouverte pour l'érection d'une statue à François Arago, et que les souscriptions seront centralisées à l'Observatoire de Paris.

M. le Secrétaire général présente, de la part de M. Colson, capitaine du Génie, membre de la Société, une brochure ayant pour titre *Photographie sans objectif*. Cette brochure est accompagnée de quelques épreuves très

remarquables obtenues au moyen d'un simple trou de quelques dixièmes de millimètre, percé dans la paroi de la chambre noire, et d'une Note, dont il est donné lecture, dans laquelle l'auteur cherche à expliquer la production de ces images.

M. Leduc demande à présenter quelques remarques au sujet des observations faites par M. Cabanellas dans la séance précédente. Il ne s'explique pas comment on peut avoir un courant suffisamment constant pour affirmer que l'état d'équilibre magnétique peut n'être atteint qu'au bout de plusieurs heures. Ne s'agirait-il pas de la disparition du flux de force et non de son établissement? Quant à lui, il a observé des durées de quinze secondes pour le rétablissement (à 0,01 près) du courant après renversement. Les plus longues durées, contrairement à l'assertion de M. Cabanellas, correspondent au cas où le circuit magnétique est fermé; ce serait dans ce cas que la méthode de renversement serait le moins applicable.

M. Pellat présente à la Société un ampèremètre absolu qui est un électrodynamomètre-balance d'une forme nouvelle.

Il se compose d'une grosse bobine de $0^m,50$ de long et de $0^m,18$ de diamètre intérieur sur laquelle sont enroulées dix couches d'un fil de cuivre de $1^{mm},3$ de diamètre. A l'intérieur de cette bobine, dont l'axe est horizontal, se trouve une petite bobine à axe vertical ayant $0^m,11$ de diamètre et $0^m,08$ de hauteur, recouverte d'une seule couche d'un fil de cuivre de $0^{mm},5$ de diamètre; le centre des deux bobines coïncide.

La petite bobine fait corps avec un fléau de balance qui porte à son extrémité un plateau suspendu à la façon ordinaire. Le couteau sur lequel repose le fléau et celui du plateau sont en agate, ainsi que les plans correspondants.

Deux fils d'argent très fins, faisant deux tours de spire en face de l'arête du couteau qui supporte le fléau, permettent de faire passer le courant dans la petite bobine sans gêner en rien les mouvements du fléau.

En lançant le courant dont on veut mesurer l'intensité dans les deux bobines, la plus petite, se trouvant placée dans le champ magnétique à peu près uniforme produit par la plus grande, est soumise à un couple qui tend à faire basculer le fléau. On fait équilibre à ce couple en mettant dans le plateau de la balance des poids marqués. Soient $p$ la masse en grammes de ces poids, $g$ l'intensité de la pesanteur, $l$ la distance des arêtes des deux couteaux, $d$ le diamètre de chaque spire de la petite bobine, $n$ le nombre de ces spires, N le nombre de couches de fil sur la grosse bobine, $e$ la distance des axes de deux spires consécutives, enfin $a$ un terme correctif nécessité par la longueur finie de la grosse bobine et qui est fourni par le calcul avec une très grande précision; on a, pour la valeur $i$ de l'intensité du courant en unités C.G.S.,

$$i = \sqrt{\frac{gle}{\pi^2 d^2 n \mathrm{N}(1-a)}}\sqrt{p}.$$

Cette relation fait connaître $i$ en fonction de la masse $p$ employée; le facteur de $\sqrt{p}$ se détermine par des mesures de longueur faciles à effectuer avec précision; elles ont été faites en partie par les soins du Bureau international des Poids et Mesures, en partie par M. Pellat, mais rapportées à l'étalon international du mètre : ce facteur est connu avec une erreur relative inférieure à $\frac{1}{2000}$.

Pour équilibrer un courant de $0^{amp},3$, il faut placer $0^{gr},4180$ dans le plateau.

L'effet du champ magnétique terrestre, dont la composante horizontale n'est que la fraction $\frac{1}{187}$ du champ de la grosse bobine pour $0^{amp},3$, est annulé complètement en disposant le plan de mobilité du fléau perpendiculairement au méridien magnétique.

Des expériences ont montré que l'isolement des fils était pratiquement parfait et que l'aluminium qui forme le noyau de la petite bobine n'est pas assez magnétique pour fausser les mesures d'une quantité appréciable.

Une autre expérience, faite en déplaçant la grande bobine de sa longueur, a fait voir qu'aucune erreur matérielle ne s'était glissée dans le calcul assez long qui donne le terme correctif $a$.

Cet appareil a été construit par M. Carpentier.

M. Pellat se propose de déterminer à l'aide de l'ampèremètre absolu :

1° La valeur absolue de la force électromotrice du Latimer-Clark ($E = IR$);

2° Le rapport des forces électromotrices en unités électromagnétiques et en unités électrostatiques, en se servant, en outre, d'un électromètre absolu;

3° L'équivalent mécanique de la chaleur, en se fondant sur la loi de Joule. Le travail $W$ ($= I^2RT$), converti en chaleur par le passage du courant $I$ dans un fil de résistance $R$ immergé dans un calorimètre, peut être connu à $\frac{1}{500}$ près.

En outre, MM. Pellat et Carpentier se proposent de construire des *ampèremètres-étalons* fondés sur le même principe que l'ampèremètre absolu, mais ayant des dimensions beaucoup moindres. L'intensité du courant sera fournie à l'aide de ces appareils par la relation $i = A\sqrt{p}$, $A$ étant une constante pour chaque instrument, qui se détermine par comparaison avec l'ampèremètre absolu. Ces ampèremètres-étalons serviront dans les laboratoires à déterminer la constante des galvanomètres, ampèremètres, etc., ainsi qu'à quelques autres déterminations, en particulier celle de la composante horizontale du champ magnétique terrestre par une méthode rapide et précise, en faisant passer un courant connu dans le cadre d'une boussole des tangentes.

M. Moissan expose ses recherches sur l'isolement du fluor; il rappelle tout d'abord, sans s'y arrêter, ses expériences sur l'étincelle d'induction éclatant dans une atmosphère de trifluorure, de pentafluorure de phos-

phore, et enfin de trifluorure d'arsenic. Laissant de côté les différentes réactions chimiques entreprises dans le but d'isoler le fluor, il insiste plus particulièrement sur l'action d'un courant électrique sur le trifluorure d'arsenic.

Cette expérience, qu'il a reprise un grand nombre de fois, lui a démontré que, sous l'action d'un courant de 90 éléments Bunsen, l'arsenic se déposait d'une façon continue au pôle négatif, et qu'au pôle positif il se formait un corps gazeux qui était absorbé par l'excès de trifluorure; ce dernier passait donc à l'état de pentafluorure et ne permettait pas l'isolement du fluor.

Après de nombreux tâtonnements, M. Moissan s'est alors adressé à l'acide fluorhydrique anhydre. Ce corps, quand il est pur, ne conduit pas le courant; mais, s'il renferme un fluorure métallique, fluorure de platine, fluorure de potassium, il devient bon conducteur. M. Moissan indique alors les premières expériences tentées dans cette voie, la façon dont il a modifié successivement l'appareil de platine dans lequel se faisait l'électrolyse. Il s'est arrêté finalement à un tube en U en platine dont les deux extrémités sont fermées par des bouchons à vis. Chacun de ces bouchons est formé par un cylindre de spath fluor bien serti dans un cylindre creux de platine dont l'extérieur porte le pas de vis. Chaque cylindre de spath fluor laisse passer en son axe une tige carrée de platine iridié (10 pour 100 d'iridium), moins attaquable que le platine pur. Ces tiges, plongeant par leur extrémité inférieure dans le liquide, servaient d'électrodes. Enfin deux ajutages en platine soudés à chaque branche du tube, un peu au-dessous des bouchons, au-dessus, par conséquent, du niveau du liquide, permettaient aux gaz dégagés par l'action du courant de s'échapper au dehors.

Le tube en U plongeait à sa partie inférieure dans du chlorure de méthyle dont on activait l'évaporation par un courant d'air sec. On maintient ainsi l'acide fluorhydrique liquide à une température toujours inférieure à — 23° (température d'ébullition normale du chlorure) et pouvant atteindre — 50°, température facile à maintenir par le passage d'un courant d'air dans ce liquide. Un ampèremètre, placé dans le circuit, permet de se rendre compte de l'intensité du courant. Voici les résultats de l'expérience : au pôle négatif, on obtient un dégagement régulier d'hydrogène (de $1^{lit},5$ à $2^{lit}$ par heure) entraînant un peu d'acide fluorhydrique; au pôle positif, un dégagement aussi notable d'un gaz possédant les propriétés suivantes : il est absorbé complètement par le mercure avec production de protofluorure de mercure jaune clair. Il décompose l'eau à froid en donnant un dégagement d'ozone. M. Moissan insiste sur la façon de faire ces expériences et de mesurer les volumes gazeux produits à chaque pôle.

Le phosphore s'enflamme dans ce gaz en fournissant du fluorure de phosphore; le soufre s'échauffe, fond rapidement, et peut même s'y enflammer; l'iode s'y transforme, avec une flamme pâle, en un produit gazeux à peu près incolore; l'arsenic et l'antimoine en poudre y brûlent avec incandescence. Le silicium cristallisé prend feu au contact de ce gaz et brûle avec éclat en donnant du fluorure de silicium; le bore adamantin y brûle avec plus de difficulté. Le carbone semble sans action.

Le fer et le manganèse en poudre y brûlent avec étincelles; il attaque avec violence la plupart des corps organiques; l'alcool, l'éther, la benzine, l'essence de térébenthine, le pétrole prennent feu à son contact; un morceau de liège placé auprès de l'ajutage de platine par lequel le gaz se dégage se carbonise rapidement et s'enflamme. Ajoutons que le chlorure de potassium fondu est attaqué à froid avec dégagement de chlore. Enfin le tétrachlorure de carbone est décomposé et dégage du chlore.

---

## *Ampèremètre absolu;* par M. Pellat [1].

Grâce à la connaissance de la valeur de l'ohm, la mesure absolue d'une force électromotrice et celle d'une intensité de courant constituent aujourd'hui un même problème expérimental, puisque la relation d'Ohm ($E = IR$) fait connaître une des trois grandeurs qui y figurent quand les deux autres sont données.

Sans être impossible, la mesure directe d'une force électromotrice en valeur absolue est fort difficile; en outre, les divers éléments de pile, qu'on a proposés comme étalons de cette grandeur, sont loin d'être assez constants quand on se sert des méthodes précises que nous possédons maintenant pour la mesure relative des forces électromotrices.

La valeur absolue d'une intensité de courant peut s'obtenir plus facilement et avec plus de précision. Les méthodes employées dans ce but se divisent en deux groupes : dans le premier se rangent les méthodes où le magnétisme terrestre, intervenant, doit être mesuré ou éliminé par des expériences convenables (boussole des tangentes, méthode de Kohlrausch, etc.); dans le second, celles où le magnétisme terrestre n'intervient pas.

Les méthodes du premier groupe nécessitent plusieurs appareils qui doivent être assez éloignés les uns des autres pour ne pas s'influencer; on suppose que la composante horizontale du champ magnétique terrestre est la même aux divers endroits où sont placés les appareils, condition rarement réalisée dans un laboratoire, à cause des pièces de fer qui s'y trouvent. En outre, la multiplicité des mesures nuit à la précision du résultat.

---

(1) Les deux figures qui accompagnent cette Note nous ont été obligeamment prêtées par *La Lumière électrique*.

Les méthodes du second groupe sont susceptibles d'une plus grande précision, sous certaines conditions cependant. Ainsi, l'on doit exclure des méthodes précises celles où les appareils renferment des aimants de fer ou d'acier, parce que les lois numériques de l'aimantation sont trop complexes et trop peu connues pour qu'on puisse fonder sur elles une mesure absolue. On est donc amené à n'utiliser que l'action mutuelle de deux conducteurs traversés par le courant étudié, c'est-à-dire à se servir d'un électrodynamomètre : on fait équilibre à l'action électrodynamique par une force d'une autre nature, connue en grandeur, d'où l'on conclut, d'après la loi d'Ampère, l'intensité du courant. Mais il est avantageux, pour la précision et la commodité de la mesure, que cette force antagoniste soit immédiatement connue en valeur absolue, sans qu'il soit nécessaire de faire, pour cela, une autre expérience. Or il n'y a qu'une force que nous connaissions immédiatement avec certitude, c'est le poids d'une masse prise dans une bonne boîte de poids.

On est conduit ainsi à se servir d'un *électrodynamomètre-balance*. Je rappellerai que MM. Joule, Cazin, Mascart, Helmholtz, etc., ont déjà employé des instruments de ce genre. C'est aussi à cette catégorie qu'appartient l'appareil que j'ai imaginé (¹); il me paraît présenter quelques avantages sérieux au point de vue de la précision.

Cet électrodynamomètre absolu (*fig.* 1) se compose de deux bobines concentriques à axes rectangulaires : l'une, longue et grosse, a son axe horizontal; l'autre, placée à l'intérieur de la première, a son axe vertical.

Le même courant passe dans les deux bobines; la petite, se trouvant ainsi placée dans le champ à peu près uniforme produit par la plus grande, est soumise à un couple qui tend à dévier son axe de la verticale : c'est la mesure de ce couple qui fait connaître

---

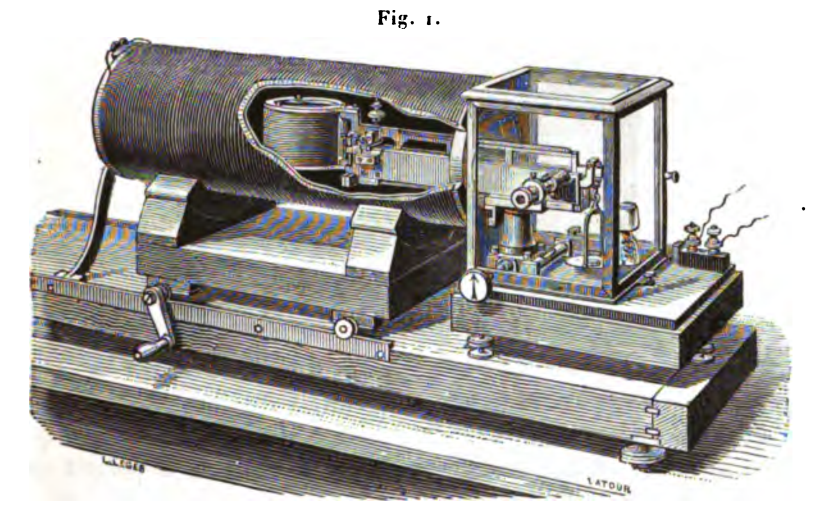
(¹) A la fin d'une Note à l'Académie des Sciences sur la détermination de l'ohm (*Comptes rendus* du 26 décembre 1882). M. Lippmann indique l'avantage qu'il y aurait à faire une boussole des tangentes ou un électrodynamomètre en plaçant à l'intérieur d'une longue bobine soit un aimant soit une bobine mobile. Ce n'est que récemment que j'ai eu connaissance de cette indication d'un appareil qui présente de commun avec le mien la grande longueur de la bobine enveloppe; mais cette Note ne dit pas si la force électrodynamique doit être équilibrée par un poids ou par l'action d'un bifilaire.

l'intensité du courant. Pour cela, la petite bobine fait corps avec un fléau de balance, qui porte à son extrémité un plateau suspendu à la façon ordinaire. En mettant des poids marqués dans ce plateau, on fait équilibre au couple électrodynamique. L'intensité $i$ du courant est alors donnée en unités électromagnétiques C.G.S. par la formule

$$i = \sqrt{\frac{gle}{\pi^2 N n(1-a)d^2}}\sqrt{p}.$$

Dans cette formule, $p$ représente la masse en grammes des poids marqués; $g$ l'intensité de la pesanteur (980, 896 à Paris);

Fig. 1.

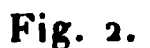


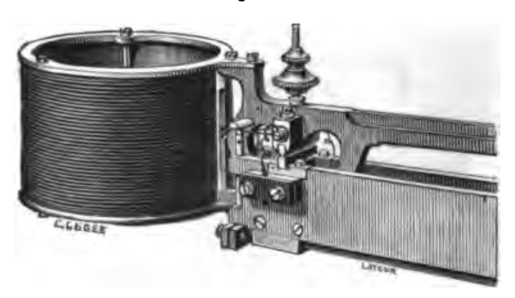
$l$ la distance entre l'arête du couteau qui supporte le fléau et l'arête du couteau qui porte le plateau; $e$ la distance entre les axes de deux spires consécutives du fil enroulé sur la grosse bobine (épaisseur du fil recouvert); N le nombre des couches de fil de cette bobine; $n$ le nombre de spires de l'unique couche de fil de la petite bobine; $d$ le diamètre de ces spires (plus exactement, le diamètre du cylindre idéal sur lequel se trouve l'axe du fil); enfin, $a$ est un terme correctif nécessité par la longueur finie de la grosse bobine, et que le calcul fournit avec une très grande précision.

Dans chaque expérience, l'intensité du courant est ainsi donnée

par une pesée, le coefficient de $\sqrt{p}$ ayant été déterminé, une fois pour toutes, par la mesure des longueurs $l$, $e$ et $d$ et des nombres N et $n$.

Toute la valeur d'un instrument de ce genre dépend de sa bonne construction et du soin apporté à la détermination des longueurs qui entrent dans l'expression de la constante. La construction a été confiée à M. Carpentier; les mesures de longueur ont été faites les unes par le Bureau international des Poids et Mesures, les autres par moi-même, mais rapportées au mètre international. Voici, à cet égard, quelques détails.


Fig. 2.



La grande bobine dont le corps est un laiton a $50^{cm}$ de longueur et $17^{cm},3$ de diamètre intérieur. Elle porte dix couches d'un fil de cuivre de $0^{cm},13$ de diamètre recouvert de deux couches de soie; chaque couche de fil est séparée de la précédente par une feuille de papier arcansonnée : le tout est recouvert d'une enveloppe protectrice.

La petite bobine (*fig.* 2) est constituée par un cylindre d'aluminium de $0^{cm},4$ d'épaisseur, de $11^{cm}$ de diamètre et de $8^{cm}$ de hauteur (¹); ce cylindre porte une seule couche d'un fil de cuivre de $0^{cm},05$ de diamètre recouvert de deux couches de soie; ce fil forme exactement 164 spires.

Pour établir la communication de cette bobine avec les autres parties du circuit, sans gêner les mouvements du fléau dont elle

---

(¹) Le rapport de la hauteur au diamètre a été calculé de façon à avoir un couple électrodynamique maximum, étant donnée la plus grande dimension linéaire du cylindre.

est solidaire, j'ai employé deux fils d'argent très fins faisant deux tours de spires en face de l'arête du couteau qui supporte le fléau.

Les deux couteaux et les plans sur lesquels ils reposent sont en agate, aucune pièce d'acier ne devant exister dans l'appareil.

Les oscillations du fléau sont observées à l'aide d'un microscope peu grossissant, pourvu d'un réticule oculaire, qui vise une graduation sur argent, à traits horizontaux, portée par l'extrémité du fléau. On voit dans le microscope ces traits se déplacer verticalement pendant les oscillations.

Comme dans toute balance, une cage en verre protège tout l'appareil oscillant. Un bouton qu'on manœuvre de l'extérieur permet de soulever légèrement le fléau sur des fourchettes.

La distance $l$ des arêtes des couteaux a été mesurée par le Bureau international des Poids et Mesures. L'erreur relative commise sur son évaluation est absolument négligeable.

Ce sont aussi les mêmes observateurs, MM. Benoît et Isaachsen, qui ont mesuré le diamètre du cylindre d'aluminium avant l'enroulement du fil. La mesure a été faite, pour huit diamètres équidistants sur chacune des bases du cylindre, avec le comparateur universel; une mesure a été faite aussi dans la partie médiane. Les mesures ont montré que le défaut de cylindricité était tout à fait négligeable, la moyenne des valeurs trouvées pour les diamètres des deux bases ne différant pas de $\frac{1}{100}$ de millimètre.

Ce cylindre a été ensuite placé entre deux joues de laiton pour les fixer au fléau, puis couvert d'une couche de vernis qui, quoique suffisante pour un bon isolement, est d'une épaisseur négligeable. C'est sur celle-ci que le fil a été enroulé. Avant et après l'enroulement, on a mesuré, avec un bon pied à coulisse, le diamètre du cylindre sur plusieurs génératrices, ce qui a donné l'épaisseur du fil enroulé.

Cette épaisseur a été obtenue encore par l'opération destinée à compter le nombre des spires : la bobine ayant été placée verticalement, j'ai compté le nombre des fils qui passaient devant le réticule de la lunette d'un cathétomètre bien réglé; tous les dix fils, je fixais la lunette et je mesurais son déplacement sur la règle graduée, pour éviter une erreur dans le numérotage des fils. On avait ainsi la hauteur occupée par toutes les spires et, en divisant

cette hauteur par leur nombre, le diamètre moyen du fil enroulé.

Les deux mesures ont donné des résultats concordants. En ajoutant le diamètre du fil à celui du cylindre nu, on a la valeur de *d*. L'erreur relative sur l'évaluation de *d* ne peut dépasser $\frac{1}{5000}$.

La mesure la plus délicate était celle de la distance moyenne *e* des axes de deux spires consécutives de la grosse bobine. Comme on ne pouvait songer à déplacer celle-ci pendant l'enroulement des diverses couches, cette mesure a été effectuée par moi-même dans l'atelier du constructeur. Voici le procédé que j'ai employé. J'ai fait construire une règle en laiton, taillée en biseau, portant vers ses deux extrémités deux traits distants de deux cents fois l'épaisseur du fil. La distance de ces deux traits a été mesurée exactement au Bureau international des Poids et Mesures par MM. Benoît et Pellat, avec la *règle normale* et le comparateur universel. Deux microscopes, pourvus de micromètres oculaires, assujettis d'une façon invariable à la règle de laiton, visaient chacun l'un des traits. Une monture permettait d'installer ce petit appareil sur le tour où se faisait l'enroulement, de manière à appliquer la règle sur la couche de fil parallèlement à l'axe de la bobine. En regardant dans l'un des microscopes, j'amenais, avec une vis de rappel, le trait correspondant à coïncider exactement avec la ligne de séparation de deux fils. En regardant alors dans l'autre microscope, je notais le nombre de divisions du micromètre oculaire existant entre le trait et la ligne de séparation de deux fils la plus voisine. La tare du micromètre oculaire étant déterminée, j'avais ainsi la longueur occupée par un nombre entier de spires P voisin de 200.

Pour connaître ce nombre P, sans être obligé de compter les fils, ce qui est une opération fatigante et sujette à erreur, j'ai employé une méthode de coïncidence. L'intervalle compris entre les deux traits avait été divisé en 200 parties égales, numérotées de dix en dix; chacune de ces divisions était ainsi à très peu près égale à l'épaisseur d'un fil. Le trait zéro coïncidant exactement avec la ligne de séparation de deux fils, les traits voisins coïncidaient à peu près; mais, en s'éloignant du trait zéro, l'écart entre un trait et la ligne de séparation de deux fils correspondante augmentait, en général, de plus en plus, jusqu'à atteindre l'épaisseur d'un fil : j'observais alors une nouvelle coïncidence, et le nombre

des fils était supérieur ou inférieur d'une unité au numéro du trait correspondant. Je notais ainsi, en général, au plus une seule coïncidence dans l'intervalle des traits extrêmes, de façon que le nombre des fils P était égal à 199, 200 ou 201.

Cette mesure était, du reste, toujours faite dans la partie moyenne de la grosse bobine dont l'effet sur la bobine mobile est prédominant. Elle était répétée, pour chaque couche, sur quatre génératrices équidistantes; pour la première couche, elle a été répétée sur sept génératrices. Le nombre $e$ se trouve être ainsi la moyenne de quarante-trois mesures. Chacune d'elles était faite avec une erreur relative inférieure à $\frac{1}{3000}$; il est probable que la moyenne des quarante-trois mesures diminue notablement cette erreur; mais, même en admettant une erreur de $\frac{1}{3000}$ sur la valeur de $e$, il n'en résulterait qu'une erreur de $\frac{1}{6000}$ sur l'intensité du courant.

La méthode de coïncidence employée pour compter les fils présente, en outre, l'avantage de montrer immédiatement les irrégularités de l'enroulement, ce qui permet d'en tenir compte au besoin. La couche de fil, en général régulière dans sa partie moyenne, présente toujours des irrégularités vers les extrémités à cause du passage du fil d'une couche à la suivante, ce qui produit un ressaut dont l'effet se fait sentir sur les parties peu éloignées des extrémités. L'un des principaux avantages de la disposition de cet électrodynamomètre est précisément la distance relativement grande de la bobine mobile aux extrémités de la bobine fixe : les irrégularités inévitables du fil à ces extrémités sont ainsi sans influence appréciable sur le résultat.

En résumé, si l'on suppose que les erreurs relatives de ces diverses mesures s'ajoutent numériquement, on trouve que l'erreur qui en résulte pour l'intensité du courant ne dépasse pas $\frac{1}{2000}$.

Voilà pour les erreurs systématiques; quant aux erreurs accidentelles, elles se réduisent à l'erreur commise dans chaque expérience sur la mesure de $p$. Or la balance est sensible au dixième de milligramme, et un courant de $0^{amp},3$ nécessite pour être équilibré à Paris $0^{gr},4180$. Les courants les plus convenables pour une bonne mesure sont compris entre $0^{amp},2$ et $0^{amp},4$.

Le réglage de l'appareil se fait sans aucune difficulté : le cen-

trage des deux bobines, facile à obtenir, n'a pas besoin d'être fait avec précision, puisque la petite bobine se trouve dans un champ à peu près uniforme et dans la position qui correspond au maximum de la valeur du champ.

Pour éviter l'effet du magnétisme terrestre, on peut, après avoir établi l'équilibre, renverser le sens du courant dans la bobine fixe, sans le changer dans la bobine mobile; la masse qu'il faut ôter ou ajouter pour rétablir l'équilibre est exactement égale à $2p$, puisque l'action du champ magnétique terrestre sur la bobine mobile est la même dans les deux cas, tandis que l'action du champ de la bobine fixe est changée de signe. Mais il est, dans certains cas, préférable, pour la rapidité des mesures, de disposer le plan de mobilité du fléau perpendiculairement au méridien magnétique : l'action de la terre est ainsi annulée, ce dont on s'assure en lançant le courant dans la bobine mobile seulement, après avoir établi l'équilibre auparavant; celui-ci ne doit pas être troublé. Comme la composante horizontale du champ terrestre n'est que la $\frac{1}{130}$ partie environ du champ produit par la bobine fixe pour un courant de $0^{amp},3$, on voit que les variations de la déclinaison sont sans influence appréciable, et qu'il n'y a besoin de faire ce réglage que d'une façon approchée.

Plusieurs vérifications étaient nécessaires. Le bon isolement des fils a été constaté, pour les deux bobines, en mesurant la résistance du circuit formé par le fil et le noyau métallique de la bobine. Cette résistance a été trouvée assez considérable pour que les dérivations produites soient tout à fait insignifiantes.

Je me suis assuré, ensuite, que le magnétisme de l'aluminium qui formait le corps de la bobine mobile était trop peu important pour fausser la mesure. L'aluminium du commerce renferme toujours du fer qui doit s'aimanter sous l'influence du courant passant dans le fil de la bobine mobile; on pouvait craindre ainsi qu'un couple électromagnétique ne vînt augmenter l'action du couple électrodynamique, qui seul est introduit dans le calcul. Pour faire cette vérification, j'ai produit, à l'aide d'un fort électro-aimant placé au-dessous de la bobine mobile, un champ magnétique égal, dans le voisinage de celle-ci, au champ produit à son intérieur par un courant de $0^{amp},15$ environ, passant dans le fil dont elle est re-

couverte. L'électro-aimant devait, par conséquent, produire la même aimantation de l'aluminium qu'un pareil courant. Or l'équilibre ayant été établi sans faire passer aucun courant dans les deux bobines, il n'a pas été troublé en lançant un courant relativement intense dans la bobine fixe seulement : l'aimantation de l'aluminium était donc trop faible pour que le couple électromagnétique fût appréciable.

La troisième vérification a été relative à l'exactitude du calcul du terme correctif $a$. Ce calcul est long : les composantes horizontales et verticales du champ dues aux bouts de la bobine fixe ne peuvent être obtenues que par des développements en séries, et il faut intégrer par rapport à tous les éléments de la surface de base de la bobine mobile. Malgré tout le soin apporté à la vérification de chaque opération partielle, on pouvait craindre qu'une erreur ne se fût glissée dans le calcul. Heureusement que la disposition de l'appareil se prête à une vérification simple de l'exactitude du terme connectif $a$. En déplaçant la grosse bobine de sa longueur, on obtient sur la bobine mobile un effet beaucoup plus faible que dans la position normale. Or, le rapport des couples électrodynamiques dans ces deux positions se calcule au moyen des termes donnant la valeur de $a$, en y ajoutant seulement quelques termes peu importants et d'un calcul relativement facile; ce rapport diffère peu de $\frac{a}{2}$. D'autre part, l'expérience en fournit la valeur : c'est le rapport des poids qu'il faut mettre dans le plateau pour faire équilibre successivement à ces deux couples. Le calcul avait donné le nombre 0,0498; l'expérience a donné le nombre 0,0495. Pour montrer combien est grand l'accord de ces deux nombres, il suffit d'indiquer que le nombre observé deviendrait identique au nombre calculé, si l'on supposait une erreur de $\frac{1}{10}$ de milligramme seulement dans les deux opérations d'équilibre que nécessite la pesée, quand la grosse bobine est dans la position écartée, toutes les autres mesures étant supposées exactes : aucune erreur n'a donc été commise dans le calcul du terme $a$.

Les principales expériences que je me propose de faire avec cet appareil sont :

1° La détermination de la force électromotrice de l'élément

Latimer-Clark, le moins variable des éléments proposés comme étalons;

2° La mesure du rapport des unités électromagnétiques et électrostatiques en mesurant, en unités électromagnétiques à l'aide de l'électrodynamomètre absolu et en unités électrostatiques à l'aide d'un électromètre absolu, la force électromotrice de piles de 300 à 600 éléments.

3° La mesure de l'équivalent mécanique de la chaleur, en faisant passer un courant connu I dans une résistance connue R placée dans un calorimètre. Le travail ($I^2RT$) converti en chaleur peut être déterminé ainsi avec une erreur inférieure à $\frac{1}{450}$.

En outre, M. Carpentier et moi nous proposons de construire des *ampères-étalons* qui auront en plus petit la même disposition que l'électrodynamomètre absolu; ils fourniront l'intensité d'un courant par la formule

$$i = A\sqrt{p}.$$

Le coefficient A est indépendant de la température et varie proportionnellement à la racine carrée de l'intensité de la pesanteur: il sera déterminé pour chaque appareil par comparaison avec l'électrodynamomètre absolu.

Ces ampères-étalons pourront servir dans les laboratoires à régler, à leur tour, les divers ampèremètres ou à faire des expériences directes. En particulier, ils permettront de déterminer rapidement et exactement la composante horizontale du champ magnétique terrestre en lançant un courant connu dans le cadre d'une boussole des tangentes.

---

## SÉANCE DU 13 DÉCEMBRE 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. SEBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 décembre est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Demerliac, Professeur de Physique au Lycée de Tourcoing.

M. le Président fait part à la Société de la perte qu'elle vient de faire

dans la personne de M. Jennesson, ancien principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle). M. Jennesson suivait assidûment les travaux de la Société et lui portait un grand intérêt. Il a légué par testament à la Société une somme de 500$^{fr}$.

M. le **Président** annonce aussi la mort de M. Félix Aubry, principal du collège de Bône (Algérie).

M. le **Secrétaire général** présente, de la part de M. Guillaume, un Mémoire *Sur les études thermométriques* faites au Bureau international des Poids et Mesures.

M. le **Président** communique à la Société une lettre de M. Cabanellas demandant, pour répondre aux objections faites par M. Leduc dans la séance précédente, à résumer dans les termes suivants les résultats qu'il a communiqués dans la séance du 19 novembre :

« 1° Si, le circuit magnétique étant très ouvert, on agit par fermeture du courant excitateur, le flux atteint les $\frac{99}{100}$ de sa valeur définitive en quinze à vingt secondes et trente secondes pour de très faibles résistances du circuit électrique total.

» 2° Si, le circuit magnétique étant bien fermé, on agit par ouverture du courant excitateur, le flux a perdu les $\frac{99}{100}$ de sa valeur en *une minute et demie;* le dernier centième met une demi-heure à disparaître *sensiblement*, car le phénomène n'est pas éteint *avant plusieurs heures.* »

M. **Guillaume** donne une description des thermomètres du Bureau international des Poids et Mesures et des procédés employés pour leur étude.

Ces thermomètres, fournis par M. Tonnelot, à Paris, sont en verre dur, à tige et tube cylindriques, à division équidistante en dixièmes de degré, et à réservoir soudé. Ils portent des points fondamentaux 0 et 100, et sont construits d'après trois modèles différents : thermomètres étalons avec toute l'échelle; thermomètres à une ampoule pour les températures comprises entre 0° et 50°; thermomètres à deux ampoules, ayant une division continue jusqu'à 39° environ.

L'étude d'un thermomètre comprend une partie individuelle qui consiste à déterminer ses corrections, c'est-à-dire les nombres à ajouter aux lectures pour les ramener à ce qu'elles seraient dans un instrument parfait de même nature; puis une partie générale, par laquelle on détermine, pour un thermomètre donné, la différence entre ses indications et celles du thermomètre à gaz. Les corrections résultant de cette dernière étude se rapportent alors à tous les thermomètres de même verre.

L'étude individuelle comprend la détermination : 1° des erreurs de division et de calibrage; 2° des coefficients de pression du réservoir; 3° de l'intervalle fondamental [0-100].

Pour les thermomètres Tonnelot, l'étude de la division se borne à la

vérification de l'équidistance des traits; les erreurs étant, en général, inférieures à 0°,001, il est très rare qu'on ait à en tenir compte.

On calibre un thermomètre en comparant entre eux différents volumes du tube au moyen de colonnes de mercure que l'on observe en divers endroits, déterminés par le diagramme du calibrage. L'équation de condition que l'on obtient par une observation est de la forme

$$x_i - x_k + \lambda_m = a_{ik},$$

$x_i$ et $x_k$ étant les corrections des points I et K dans le voisinage desquels sont les extrémités de la colonne, $\lambda_m$ l'excès moyen de la longueur d'une colonne sur l'intervalle de $m$ divisions, [IK] $a_{ik}$ l'excès observé. Pour que les résultats d'un calibrage soient très précis, il faut établir un grand nombre d'équations de cette forme, et les résoudre par la méthode des moindres carrés. Pour un calibrage en $n$ parties, le nombre des équations que l'on peut établir est $\frac{(n-1)(n+2)}{2}$, pour $2(n-1)$ inconnues $x$ et $\lambda$. Les erreurs probables des $x$ calculées au moyen des erreurs résiduelles, ainsi que des calibrages répétés, s'accordent à montrer que les corrections de calibre peuvent être déterminées à moins de 0°,001 près.

Les lectures d'un thermomètre sont ramenées à la pression extérieure normale et à la position horizontale. Pour faire cette réduction, on détermine les coefficients de pression extérieure et intérieure, $\beta_e$ et $\beta_i$, qui, multipliés par les pressions en millimètres de mercure, donnent les corrections en degrés. Le coefficient de pression extérieure est déterminé directement, en observant les différences dans les indications du thermomètre exposé alternativement à la pression atmosphérique et à une pression voisine de zéro.

Le coefficient $\beta_i$ peut se déduire de $\beta_e$ par la relation

$$\beta_i = \beta_e + k(\chi_m - \chi_v),$$

$\chi_m$ et $\chi_v$ désignant les coefficients de compressibilité du mercure et du verre, $k$ un facteur de réduction aux mêmes unités. Les valeurs données par divers observateurs pour $\chi_m$ et $\chi_v$ diffèrent trop pour qu'on puisse adopter l'une ou l'autre sans critique. M. Guillaume fait remarquer que le coefficient trouvé par M. Descamps dans ses expériences sur la compressibilité du mercure n'est pas $\chi_m$, mais un nombre très voisin de $\chi_m - \chi_v$; on a adopté le nombre de M. Descamps comme correction totale. Ce coefficient est : $1,84.10^{-6}$ pour une mégadyne par centimètre carré, ou $1,54.10^{-5}$ degrés par millimètre de mercure. La détermination directe de $\beta_i$ a vérifié cette relation.

Pour déterminer l'intervalle fondamental des thermomètres, on les observe dans la vapeur d'eau bouillante, après avoir mesuré la pression atmosphérique; puis, après les avoir refroidis rapidement, on les observe dans la glace fondante. La première détermination a lieu dans un appareil à ébullition construit dans les ateliers du Bureau international, sur les des-

sins de M. Chappuis; cet appareil, qui dérive de celui de Regnault, en diffère essentiellement en deux points : 1° le thermomètre est placé dans un tube séparé de la chaudière; 2° les observations peuvent être faites en position verticale et horizontale; on peut ainsi déterminer directement le coefficient de pression $\beta_i$ des thermomètres. La pression barométrique est réduite à 0° de température, au niveau de la mer et à 45° de latitude, pour tenir compte de la variation de $g$. Le zéro est déterminé en position verticale. La glace, finement râpée et trempée d'eau, est placée dans une cloche en verre où on la tasse fortement. Le thermomètre est maintenu par la tige; le réservoir, tout entouré de glace, ne doit subir aucune pression de la part de celle-ci. La détermination d'un intervalle fondamental est soumise à diverses causes d'erreurs, dont les plus considérables proviennent des impuretés de la glace et des mouvements du zéro. Cependant, l'erreur probable d'une moyenne de cinq déterminations dépasse rarement 0°,002.

En somme, les corrections totales de chaque point d'une échelle thermométrique peuvent être garanties à 0°,002 ou 0°,003 près.

A la suite de cette Communication, M. Bouty adresse une demande à M. Guillaume au sujet des expériences de M. Descamps : selon lui, ces expériences sont dues à la collaboration de MM. Jamin, Amaury et Descamps.

M. Benoit était au laboratoire de M. Jamin à l'époque où ces expériences ont été exécutées : l'idée de la méthode employée appartient à M. Jamin; les expériences ont été exécutées par M. Descamps et ont figuré dans une thèse publiée par ce dernier savant.

M. Lippmann fait remarquer que les résultats obtenus dans la détermination du point zéro varient avec l'origine et la nature du mélange réfrigérant; ainsi Bunsen préfère, pour le fonctionnement de son calorimètre, la neige très pure ramassée avec une *pelle de bois*.

M. Guillaume répond que M. Pernet a fait au Bureau international des expériences sur des glaces de diverses origines et a trouvé des différences qui pouvaient atteindre 3 millièmes de degré; après avoir essayé d'opérer avec de la glace artificielle, le Bureau international donne la préférence à de la glace naturelle de Norvège ou de Suisse, râpée et lavée à l'eau distillée.

M. Violle présente à la Société un appareil qu'il a disposé pour montrer les deux modes de réflexion d'un mouvement vibratoire. Cet appareil, construit par M. Kœnig, se compose d'un long tube à l'une des extrémités duquel est disposé un pistolet de salon, et dont l'autre extrémité porte une capsule manométrique reliée à un tambour à levier de M. Marey. L'ébranlement produit par l'explosion d'un peu de fulminate traverse le tube, se réfléchit contre l'extrémité fermée où il actionne la capsule manométrique et revient à l'origine qui peut être fermée ou bien ouverte : dans le premier cas, il reste condensant et va produire sur la capsule ma-

nométrique un effet de même sens que la première fois; dans le second cas, la condensation se transforme en dilatation et l'indication manométrique change de signe. L'ébranlement continuant sa route, les variations de pression restent toujours positives dans le tuyau fermé aux deux bouts; elles sont alternativement positives et négatives dans le tuyau ouvert. L'appareil est disposé de façon à permettre l'inscription de ces variations, avec celle des vibrations d'un diapason chronographique, soit sur un cylindre tournant, soit sur une plaque de verre. L'expérience est faite de cette deuxième manière devant la Société : la plaque enfumée est placée dans l'appareil J. Duboscq et le double graphique se dessine sur l'écran en même temps qu'il se produit sur la lame de verre.

A la suite de cette Communication, M. Mascart demande si les capsules manométriques obéissent assez vite aux impulsions qu'elles reçoivent : l'appareil présente-t-il un retard indépendant de l'amplitude?

M. Violle répond qu'il s'est assuré du bon fonctionnement des membranes (séance du 15 janvier), qu'avec l'appareil actuel le résultat est sensiblement indépendant de l'amplitude, à la condition de laisser de côté les relevés fournis par les deux premières portions du tuyau recourbé; il donne quelques chiffres à l'appui.

M. Carpentier présente un batteur de mesure, qu'il a combiné pour mettre sous la direction immédiate du chef d'orchestre de l'Opéra les chœurs et les parties instrumentales qui ne peuvent voir sa baguette. On a déjà essayé dans ce but des frappeurs électriques qui, en général, s'entendent mal, ou des baguettes mobiles qui se montrent rebelles aux mouvements qui sont en désaccord avec leur période propre d'oscillation et se prêtent mal aux changements brusques d'allure.

La disposition employée par M. Carpentier repose sur une pure illusion d'optique. Sur un panneau noirci, deux sillons ont été pratiqués et forment entre eux l'angle que l'on voit ordinairement décrire à la baguette du chef d'orchestre. Dans chacun de ces sillons, une règle carrée est montée de telle sorte qu'elle puisse rapidement pivoter autour de son axe d'un quart de tour et montrer alternativement deux de ses faces. L'une est noire, comme le panneau; l'autre, blanche. Quand, par un mouvement brusque, la face blanche est remplacée par la face noire, la règle semble disparaître; si, en même temps, le mouvement inverse se produit pour la deuxième règle, celle-ci apparaît. L'œil, qui se porte alternativement sur celle des règles qui est blanche, croit voir une règle unique se mouvoir entre deux positions extrêmes. Le mouvement est commandé par le pied du chef d'orchestre et s'exécute par un mécanisme très simple dont l'organe principal est un électro-aimant.

---

## *Sur l'étude des thermomètres à mercure* (¹);

par M. Ch.-Ed. Guillaume.

L'étude des thermomètres à mercure au Bureau international des Poids et Mesures est entrée dans sa période définitive; la construction des thermomètres, la détermination de leurs corrections et le mode d'emploi de ces instruments, qui ont subi dans ces dernières années d'importantes transformations, ne paraissent pas devoir se modifier beaucoup dans un avenir rapproché. On peut dès maintenant établir quelques prescriptions précises à ce sujet.

Je rappellerai que l'indication d'un thermomètre à mercure est fournie par la dilatation apparente du mercure dans le verre, mesurée en centièmes du volume [0·100], ce volume étant lui-même à la température à mesurer.

L'échelle thermométrique résultant de cette définition diffère en général de l'échelle absolue, donnée sensiblement par le thermomètre à gaz; mais les recherches récentes ont montré que, pour tous les thermomètres du même verre, manipulés d'une manière analogue, l'échelle est la même dans les limites des erreurs d'observation, c'est-à-dire à moins de 3 ou 4 millièmes de degré.

Cette proposition s'applique à un thermomètre idéal, permettant de faire un usage immédiat de la définition de la température qui vient d'être donnée. Pour tous les thermomètres, les lectures doivent être ramenées aux conditions que suppose cette définition, au moyen de corrections propres à chaque instrument et déterminées sur l'instrument lui-même. L'étude individuelle des thermomètres consiste dans la détermination de ces corrections; elles sont de trois espèces :

1° Corrections de calibre et de division, qui compensent les inégalités du tube et de la division;

(¹) Résumé de la première Partie du Mémoire de l'auteur : *Études thermométriques* (*Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*, t. V, Paris, Gauthier-Villars; 1886).

2° Corrections de pression extérieure et intérieure, servant à ramener les lectures à ce qu'elles seraient si le réservoir du thermomètre était toujours soumis à la même pression;

3° Corrections d'intervalle fondamental, qui servent à tenir compte de l'erreur commise par le constructeur sur l'intervalle [0·100].

Après avoir été corrigées au moyen des Tables données par l'étude individuelle, les lectures du thermomètre sont dans les mêmes conditions que si elles avaient été faites sur un thermomètre de même matière, dont la division est parfaitement régulière, et le tube cylindrique, et où 100 divisions valent 100°; de plus le réservoir est supposé soustrait à toutes les déformations dues à des causes étrangères à la température.

Si, maintenant, on établit, pour l'un de ces instruments la Table de correction pour ramener ses indications à l'échelle absolue, cette Table conviendra à tous les thermomètres du même verre, dont les indications sont corrigées au moyen des résultats d'une étude individuelle, sans qu'il soit nécessaire de recourir à la comparaison avec un autre thermomètre que l'on choisirait arbitrairement comme étalon.

### Construction des thermomètres.

Les thermomètres étalons doivent être construits de manière à permettre une étude individuelle; ils doivent tous porter les points 0 et 100, ainsi que les parties intermédiaires de l'échelle servant à rapporter chaque point à l'intervalle [0·100]; mais une fraction de l'échelle, inutile pour les mesures que l'on se propose de faire, peut être remplacée par une ou plusieurs ampoules soufflées sur le tube capillaire; on peut ainsi raccourcir le thermomètre, en conservant au degré une longueur suffisante pour que l'on puisse faire de bonnes observations. Les principaux types de thermomètres employés au Bureau international sont à échelle entière, à une ampoule ou à deux ampoules; ces derniers ont respectivement une échelle continue entre 0° et 50°, et entre 0° et 38°. D'autres thermomètres d'une construction particulière servent au-dessous de zéro, ou entre 50° et 100°.

Le tube est à section circulaire; la tige est transparente et porte

une division équidistante en dixièmes de degré; ils sont munis à la partie supérieure d'une petite ampoule arrondie; ils sont en verre dur légèrement verdâtre. Le réservoir n'est pas soufflé; il est obtenu en rapportant à l'extrémité de la tige un petit tube de même diamètre, dont les parois ont une épaisseur convenable et bien régulière ($0^{mm},4$ à $0^{mm},5$) (¹).

### Étude des thermomètres.

*Division.* — La première étude se rapporte à la division. Les corrections de calibre, étant déterminées pour un certain nombre de points, il faut pouvoir faire, pour les traits intermédiaires, une interpolation en supposant des abscisses équidistantes. Si les traits ne l'étaient pas suffisamment, il faudrait appliquer des corrections de division. L'étude d'un tracé a lieu en pointant chaque trait au moyen d'un microscope porté sur le chariot d'une machine à diviser. Les tracés de M. Tonnelot présentent rarement des irrégularités dépassant $0°,001$ (la longueur du degré étant de $5^{mm}$ à $8^{mm}$). Une division aussi parfaite simplifie beaucoup l'étude du thermomètre. On a complètement renoncé aux divisions dites *rectifiées,* qui présentent toujours des discontinuités.

*Calibrage.* — Chaque point du thermomètre doit être rapporté au volume [0·100]; pour cela, on procède par subdivisions successives, jusqu'à ce que l'on ait déterminé les corrections d'une série de points assez serrés pour permettre une interpolation certaine. En général, les calibrages sont faits de 2° en 2°.

Pour les thermomètres avec échelle entière, on commence d'ordinaire par une division en 5 parties; puis chaque section de 20° est calibrée indépendamment. Au moyen d'une formule de transformation, on ramène toutes les corrections au système [0·100]. Pour les thermomètres à une ampoule, on fait d'abord une division en deux parties de l'intervalle [0·100]; puis une subdivision en cinq parties de la section [0·50]; enfin un calibrage serré de chaque section de 10°. Pour les thermomètres à deux ampoules,

(¹) Ces thermomètres sont fournis par M. Tonnelot à Paris.

la première subdivision comprend les sections [— 2·32], [32·66], [66·100]; puis on passe au calibrage serré de la section [— 2·38].

Comme on sait, les calibrages se font en comparant les volumes successifs du tube, au moyen de colonnes de mercure que l'on déplace le long du thermomètre. On arrive aisément à séparer à l'intérieur d'un thermomètre toutes les colonnes que l'on désire avoir, en utilisant la propriété de la colonne capillaire, de se séparer de nouveau à l'endroit où a eu lieu la jonction du mercure; les difficultés ne commencent en général à devenir très grandes que pour des index ayant moins de $1^{cm}$ à $1^{cm},5$ de longueur. La longueur des colonnes est mesurée à l'estime et rapportée aux divisions du tube. Les observations se font au moyen de petites lunettes montées sur une glissière.

Supposons une colonne placée entre les points I et K du tube; soient $x_i$ et $x_k$ leurs corrections de calibre; mesurée en fonction de la section moyenne du tube entre les points extrêmes du calibrage, cette colonne aura une certaine longueur $m + \lambda_m$, $\lambda_m$ représentant l'excès très petit de la colonne sur sa longueur nominale de $m^o$. La longueur mesurée dans la position (IK) sera

$$m + a_{ik}.$$

En appliquant les corrections $x_i$ et $x_k$ aux extrémités de cette colonne et en supposant, comme première approximation, les longueurs proportionnelles aux volumes, nous aurons l'égalité

$$m + a_{ik} + x_k - x_i = m + \lambda_m$$

ou

$$x_i - x_k + \lambda_m = a_{ik}.$$

C'est l'équation fondamentale du calibrage, dans laquelle $x_i$, $x_k$ et $\lambda_m$ sont les inconnues, $a_{ik}$ la quantité observée.

On peut calculer les corrections de calibre d'un tube, dès que l'on possède autant d'équations indépendantes que le problème contient d'inconnues. Mais, pour obtenir une grande précision, il est nécessaire d'établir beaucoup plus d'équations que d'inconnues.

En observant dans toutes les positions possibles toutes les colonnes de longueurs croissant en progression arithmétique depuis la distance de deux points consécutifs du calibrage serré, on

obtient, pour une division en $n$ parties, $\frac{(n+2)(n-1)}{2}$ équations, formant un système symétrique de $2(n-1)$ inconnues, que l'on résout par la méthode des moindres carrés.

Les erreurs résiduelles qui subsistent, lorsqu'on introduit dans les équations de condition des valeurs calculées des $x$ et des $\lambda$, permettent de déterminer les erreurs probables des inconnues. Dans un bon calibrage, les erreurs probables relatives aux corrections dépassent rarement 0°,0005. Cependant la vraie mesure de la précision est donnée par la répétition du même calibrage. Sur le conseil de M. Benoît, M. Isaachsen et moi, nous avons calibré indépendamment le même thermomètre à deux ampoules; les résultats ont pleinement confirmé les prévisions de la théorie; pour toute la section [— 2·38], la plus forte divergence était de 0°,0010.

*Coefficients de pression.* — Le coefficient de pression d'un réservoir thermométrique est la quantité qui, multipliée par la pression exercée sur le réservoir, donne la correction à appliquer à la lecture pour compenser l'effet de la pression. Les unités usuelles sont : pour les pressions, le millimètre de mercure multiplié par le $g$ moyen, et pour les températures le degré. On distingue le coefficient de pression intérieure $\beta_i$, et le coefficient de pression extérieure $\beta_e$. Ces deux coefficients sont liés par la relation

$$\beta_i = \beta_e + k(\chi_m - \chi_v).$$

$\chi_m$ et $\chi_v$ désignant les coefficients de compressibilité du mercure et du verre, $k$ un facteur de réduction aux mêmes unités $\beta_e$ peut être déterminé avec une assez grande précision; la mesure de $\beta_i$ est plus difficile.

Pour déterminer $\beta_e$, on enferme le thermomètre dans un tube de verre placé verticalement, et muni à sa partie supérieure de deux tubulures latérales à robinets, communiquant l'une avec l'atmosphère, l'autre avec un manomètre et un récipient dans lequel on a fait le vide. Le tube contient une petite quantité de mercure entourant le réservoir du thermomètre; le reste est rempli par de la glycérine; il plonge par le bas dans un seau plein d'eau, qui sert à régler la marche de la température. En ouvrant alternativement les deux robinets, on soumet le réservoir à des

pressions dont la différence, mesurée au manomètre, est voisine d'une atmosphère.

Soient $a_1$ et $a_3$ la première et la troisième lecture, faites sous la pression atmosphérique; $a_2$ la lecture intermédiaire sous la pression qui règne dans le récipient; P la différence des pressions. Si les lectures ont été faites à intervalles égaux, on pourra poser

$$P\beta_e = \frac{a_1 + a_3}{2} - a_2.$$

On établit un nombre suffisant d'équations de cette forme, en faisant une série d'observations, alternativement sous les deux pressions dont on dispose. Il faut éviter avec soin, dans ces expériences, certaines sources d'erreurs, qui peuvent dépasser sensiblement l'incertitude des observations; la capillarité de la colonne mercurielle, qui monte et descend alternativement dans le tube thermométrique, est la plus importante; on l'élimine en créant une marche de température assez forte, et en espaçant les lectures assez pour que le ménisque soit toujours ascendant au moment de l'observation. Les résidus d'élasticité peuvent aussi n'être pas négligeables pour certains verres; pour le verre dur, ils paraissent n'avoir aucune influence sensible.

J'ai trouvé, par des expériences directes, que le coefficient $\beta_e$ augmente de 0,000156 de sa valeur par degré dont la température monte; cependant ces expériences sont trop délicates pour qu'il soit possible d'affirmer le second chiffre significatif de ce coefficient de variation.

Pour calculer $\beta_i$, nous avons besoin de connaître la différence $\chi_m - \chi_v$. Or les expériences classiques exécutées par MM. Descamps et Amaury dans le laboratoire de Jamin fournissent, comme j'ai eu l'occasion de le démontrer (¹), non pas le coefficient $\chi_m$, mais un nombre très voisin de $\chi_m - \chi_v$; il serait égal à cette dernière quantité si le piézomètre eût été sphérique. Faute de données précises permettant d'évaluer la divergence très faible entre le nombre donné par ces expériences et la différence en question, nous avons admis qu'elle était nulle. En réduisant le

(¹) *Comptes rendus*, t. CIII, p. 1183-1186, 13 décembre 1886.

coefficient de M. Descamps, $1,87.10^{-6}$ par atmosphère, à nos unités $\frac{\text{degré}}{\text{mm}}$, on trouve

$$\beta_i = \beta_e + 0.0000154.$$

Des mesures directes de $\beta_i$ faites sur plus de cent thermomètres de précision ont vérifié cette relation dans les limites de l'exactitude atteinte.

Connaissant $\beta_e$ et $\beta_i$, on construit deux Tables donnant, la première les corrections de pression extérieure pour tous les millimètres de mercure, la seconde les corrections de pression intérieure pour tous les degrés, le thermomètre étant supposé vertical.

Jusqu'ici, on ne connaît pas de résultats précis permettant de tenir compte des variations de la pression capillaire dans l'intérieur du tube thermométrique. Ces variations sont un obstacle à l'emploi de thermomètres à tube très fin, et dont le degré dépasse une certaine longueur.

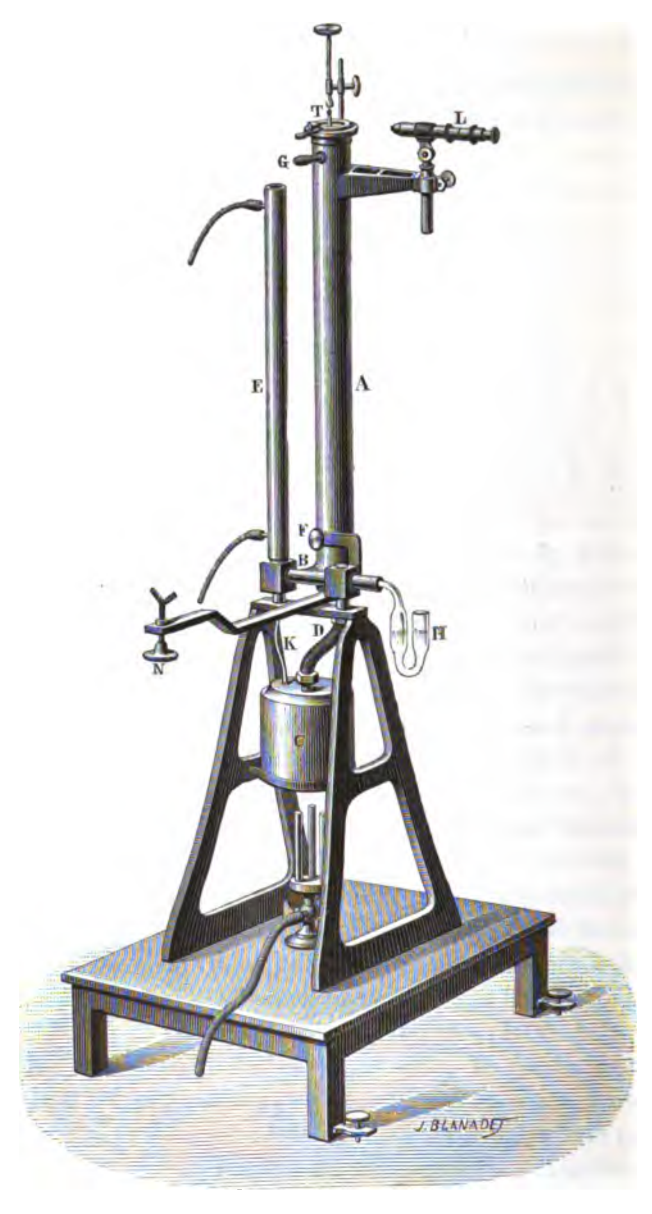
*Intervalle fondamental.* — Il reste à déterminer la valeur moyenne d'une division. Dès les premières recherches de thermométrie faites au Bureau international, on adopta, pour l'évaluation des températures, le mode opératoire indiqué par M. Pernet. Le thermomètre ayant été exposé pendant quelque temps à la température à mesurer, on fait la lecture, puis on détermine la position du zéro; c'est ce zéro actuel que l'on prend comme point de départ pour l'évaluation de la température correspondante. Le même procédé s'applique à l'intervalle fondamental; après avoir fait une lecture du thermomètre dans la vapeur d'eau bouillante, on le refroidit rapidement, et on l'observe dans la glace fondante.

L'appareil dont nous nous servons pour déterminer le point 100 dérive de l'appareil classique de Regnault, mais il en diffère en plusieurs points; il a été construit dans l'atelier du Bureau, sur les indications de M. P. Chappuis.

Le thermomètre T (*fig.* 1, 2, 3) est placé dans un tube à double circulation A, dans lequel la vapeur entre par l'axe B; ce tube peut être placé verticalement et horizontalement; il est relié à la chaudière C par un tuyau D. La vapeur, après avoir parcouru le tube, se condense dans un réfrigérant ouvert E. Les lectures ont lieu au moyen de la lunette L, portée par le tube, avec les mou-

vements de réglage nécessaires. Un manomètre à eau H indique

Fig. 1.



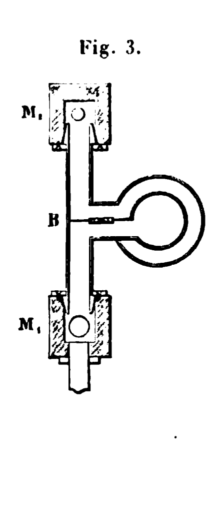

la surpression dans l'appareil.

La température de la vapeur est déduite de la pression barométrique réduite au niveau de la mer, et au 45$^e$ degré de latitude, afin de tenir compte des variations de $g$. Ce sont les observations alternatives du thermomètre en position horizontale et verticale

Fig. 2.




Fig. 3.




dans cet appareil, qui fournissent le meilleur contrôle pour le calcul du coefficient $\beta_i$.

Pour la détermination du zéro, nous nous servons de glace naturelle finement rapée. Cette glace, additionnée d'eau distillée, est placée dans un vase en verre A (*fig.* 4) de quelques litres de capacité, avec écoulement à robinet. Le thermomètre est pressé par un ressort C contre deux tiges BB garnies de liège. La glace doit toujours être trempée d'eau, mais il faut faire écouler l'eau qui reste en excès lorsqu'on la comprime fortement.

La détermination de l'intervalle fondamental est soumise à de

nombreuses causes d'erreurs, portant sur les lectures du thermomètre, et sur les circonstances physiques dans lesquelles il se trouve; cependant, en répétant cette détermination à diverses reprises dans de bonnes conditions, on peut être en général assuré

Fig. 4.




d'une précision de 0°,002 sur une moyenne de quelques observations. La plus grande cause de divergence provient des variations de la température ambiante. L'effet de ces variations est multiple, et assez mal défini. Pour des températures qui diffèrent de 15° à 20°, les valeurs de l'intervalle fondamental peuvent aisément présenter des divergences de 0°,01.

L'identité de l'intervalle fondamental de divers thermomètres ne peut être garantie, dans les limites indiquées, que si les observations ont été faites pour une température ambiante peu différente. Les déterminations sont réparties le plus souvent sur un espace de plusieurs mois; elles sont faites de préférence lorsque la température du laboratoire est comprise entre 6° et 12°. L'erreur de l'intervalle fondamental ne porte sur la mesure d'une température que proportionnellement à sa distance à zéro; or les limites des mesures de précision dépassent à peine 50°.

En récapitulant les diverses causes d'erreurs auxquelles est soumise l'étude individuelle d'un thermomètre, on voit qu'un observateur habile, en se servant des méthodes les plus perfectionnées, peut déterminer la correction totale de chaque trait d'un thermomètre étalon, à moins de trois ou quatre millièmes de degré près.

---

### *Appareil pour montrer les deux modes de réflexion d'un mouvement vibratoire;* par M. J. Violle.

Au cours des expériences sur la propagation du son dans un tuyau cylindrique, dont les premiers résultats ont été communiqués à la Société dans la séance du 15 janvier (p. 23), j'avais été frappé de la netteté avec laquelle une membrane accuse les deux modes de réflexion du mouvement sonore à l'extrémité d'un tuyau cylindrique, suivant que cette extrémité est fermée par un fond solide ou librement ouverte à l'atmosphère.

Dans le premier cas, la réflexion se produit, comme l'on sait, avec changement de signe de la vitesse et conservation de signe de la condensation. Dans le second cas, c'est l'inverse qui a lieu, la permanence de l'un des signes entraînant nécessairement la mutation de l'autre.

Il suit de là qu'un ébranlement condensant qui se propage dans un tuyau fermé aux deux bouts reste toujours condensant; par suite, en un point quelconque du tuyau, chaque passage de l'onde se traduit par une variation positive de la pression. Si, au contraire, le tuyau est ouvert à un bout, la pression à l'autre bout éprouve des variations alternativement positives et négatives.

Pour montrer ces faits, il suffit de prendre un tuyau en zinc, d'une vingtaine de mètres de longueur et de $0^m,04$ à $0^m,05$ de diamètre, replié sur lui-même, de façon à être aisément maniable. A l'une des extrémités est disposé un petit pistolet de salon, qui sert à produire un ébranlement condensant par l'explosion d'une simple amorce au fulminate; cette extrémité du tuyau peut, d'ailleurs, être maintenue librement ouverte, ou bien être fermée par un bouchon, laissant seulement passer le canon du pistolet. L'autre extrémité du tuyau est toujours fermée et porte une capsule manométrique reliée par un tube de caoutchouc, de longueur quelconque, à une capsule de M. Marey, permettant d'inscrire le phénomène à côté des vibrations d'un diapason chronographique. Si l'on veut opérer par projection, on effectue la double inscription sur une lame de verre noircie, placée dans l'appareil Duboscq, et l'on voit alors l'image se dessiner sur l'écran en même temps qu'elle se produit sur la lame de verre. Pour une expérience de mesure, il est préférable de faire au cylindre tournant un graphique, tel que ceux que j'ai l'honneur de soumettre à la Société. D'une façon comme de l'autre, l'expérience est frappante : le maintien de la condensation dans un tuyau fermé et le changement de la condensation en dilatation par réflexion à l'extrémité libre d'un tuyau ouvert sont également manifestes.

L'appareil, construit très habilement par M. Kœnig, se prête parfaitement à la démonstration de la méthode employée par Regnault dans son grand travail sur la mesure de la vitesse du son.

Ainsi, avec un diapason de 100 vibrations doubles par seconde, je trouve, dans huit expériences successives, les temps suivants employés par l'onde à effectuer pour la quatrième fois le double parcours de la longueur du tuyau :

| | | |
|---|---|---|
| Tuyau | fermé | $0^s,1440$ |
| » | ouvert | 0,1445 |
| » | fermé | 0,1440 |
| » | ouvert | 0,1445 |
| » | fermé | 0,1455 |
| » | ouvert | 0,1425 |
| » | fermé | 0,1440 |
| » | ouvert | 0,1450 |
| | Moyenne | 0,1442 |

Les temps employés pour les parcours successifs sont :

| | |
|---|---|
| Premier parcours..................... | $0^s,1414$ |
| Deuxième parcours.. .................. | $0,1417$ |
| Troisième parcours..................... | $0,1439$ |
| Quatrième parcours.................... | $0,1442$ |
| Cinquième parcours.................... | $0,1437$ |

Après deux parcours, l'onde a déjà pris une vitesse uniforme et traverse le double de la longueur du tuyau en $0^s,1439$ (à moins de $0^s,001$ près.

Les graphiques donnent en outre immédiatement les valeurs des condensations et dilatations successives, qui constituent des documents très importants pour l'étude de la propagation du son.

---

## *Sur un appareil permettant de transmettre la mesure à des exécutants placés de manière à ne point voir le chef d'orchestre;* par M. J. Carpentier.

La Note que j'ai l'honneur de présenter à la Société se rapporte à un « batteur de mesure » que j'ai combiné, à la demande des directeurs de l'Opéra. L'exécution des œuvres de musique théâtrale exige qu'à certains moments se fassent entendre, dans la coulisse, des chants, des chœurs, des parties instrumentales, et il est de la plus stricte nécessité que l'ensemble le plus parfait règne entre les musiciens dissimulés et ceux qui jouent dans la salle. Il faut que le chef d'orchestre puisse tenir sous sa direction ceux qui ne le voient pas, aussi bien que ceux qui suivent les mouvements de sa baguette; il faut, en un mot, qu'il possède un moyen de transmettre à distance les indications du rythme.

Divers appareils ont été proposés pour atteindre ce résultat. Les uns sont de simples frappeurs électriques, dont les avertissements s'adressent à l'oreille des intéressés ; les autres comportent une véritable baguette dont le mouvement donne un signe visible. Ces appareils sont, les uns et les autres, commandés électriquement à distance par le chef d'orchestre, à la disposition duquel est un manipulateur.

Les frappeurs s'entendent mal et sont insuffisants; les baguettes oscillantes, constituant de vrais pendules, se montrent rebelles aux mouvements qui sont en désaccord avec leurs tendances, et leur inertie leur défend de changer brusquement d'allure.

Le système qui m'est venu à la pensée est de la famille des signaux visibles. Il donne l'impression d'une baguette oscillante, mais il ne présente pas les inconvénients que je viens de signaler, parce qu'il repose, je dois le dire, sur une pure illusion d'optique.

Sur un panneau noirci, deux sillons ont été pratiqués et forment entre eux l'angle que l'on voit ordinairement décrire à la baguette d'un chef d'orchestre. Dans chacun de ces sillons, une règle carrée est montée de telle sorte qu'elle puisse rapidement pivoter autour de son axe d'un quart de tour et montrer alternativement deux de ses faces. De ces faces alternativement apparentes, l'une est noire, comme le panneau; l'autre est blanche. Quand, par un mouvement brusque, la face blanche est remplacée par la face noire, la règle semble disparaître; si, en même temps, le mouvement inverse se produit pour la deuxième règle, celle-ci apparaît. L'œil qui se porte alternativement sur celle des règles qui est blanche croit voir une règle unique se mouvoir entre deux positions extrêmes. Un mécanisme très simple, dont le principal organe est un électro-aimant, permet de produire le mouvement simultané de pivotage des deux règles, et le chef d'orchestre n'a, pour le commander à distance, qu'à appuyer sur un bouton ou une pédale en suivant le rythme qui correspond à la mesure.

L'illusion qui constitue l'artifice auquel je me suis arrêté repose sur ce double fait, que l'œil se précipite malgré lui sur les lignes qui se détachent en blanc sur un fond noir, et que, par suite de la persistance des impressions sur la rétine, il se charge, dans sa promenade alternative, de peindre en gris le secteur compris entre les deux limites de ses excursions.

---

# OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1886.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CII et CIII, 1886, in-4°.

Annales de Chimie et de Physique, 6e série, t. VII, VIII et IX, 1886, in-8°.

Annales scientifiques de l'École Normale supérieure, 3e série, t. III, année 1886, in-4°.

Annales télégraphiques, 3e série, t. XIII, janvier à octobre 1886, in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris, 7e série, t. IX, 1884-1885 et t. X, 1885-1886, nos 1 à 3.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils, année 1886.

Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 4e série, 39e année, janvier à novembre 1886.

L'Électricien, t. X, année 1886, 1 vol. in-8°.

Bulletin international des téléphones, année 1886, in-4°.

La Chronique industrielle; par M. *Casalonga*, année 1886, in-4°.

La Revue industrielle, année 1886, 17e année, nos 16 à 49 et 51 et 52, in-4°.

Moniteur industriel, vol. XIII, nos 1, 7 à 52, année 1886, in-4°.

Revue internationale de l'Électricité et de ses applications, t. III, 2e année, 1886, in-4°.

Bulletin de la Société minéralogique de France, t. IX, année 1886, in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. VI, nos 1 à 9, 1885, in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires, publié par M. *A. Buguet*, 1re année, 1886, in-8°.

Société nationale d'encouragement, novembre et décembre 1886, in-4°.

Anuario de la Oficina central meteorolojica de Chile, t. XVIII, janvier à août 1886, in-8°.

Proceedings of the Royal Society, vol. XLI, nos 246 à 250.

Philosophical Magazine, fifth series, vol. XXI and XXII, 1886.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band XXVII, XXVIII, XXIX, 1886.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie, Band X, 1886.

Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles, 3e série, vol. XXI, n° 93, et vol. XXII, n° 94.

Bulletin de la Société physico-chimique de Saint-Pétersbourg, t. XVIII, 1886.

Journal of the Society of Telegraph Engineers and of Electricians, vol. XV, nos 60 à 63, 1886.

Elektrotechnische Zeitschrift; herausgegeben von elektrotechnischen Verein. Heft IX, 1886.

The American Journal of Science, 3e série, vol. XXXI et XXXII, 1886.

The Physical Society of London (Proceedings), vol. VII et vol. VIII, janvier à octobre 1886.

Annales de l'École polytechnique de Delft, t. II, 1886.

Die Fortschritte der Physik im Jahre 1879, XXXV Jahrgang.

Pontificia Universita Gregoriana. — Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano, vol. XXV, nos 1 à 8, 1886.

Organe industriel (de Bruxelles), 14e année, 481 à 501-503 à 507-509 à 511, 512, 514 à 518; 1886.

Cronica cientifica, t. IX, 1886; nos 194 à 203 et 220 à 218.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens; t. III, année 1886.

Institutui meteorologic Romanei : Buletinul ministeruli agriculturei, industriei comerciului Saint Domeniilor, anul I, 1885; nos 8 à 12.

The Electrician; vol. XVII, nos 5 à 12-14 à 16-18 à 26; vol. XVIII, nos 1 à 5 et 7 à 15.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie; par M. *Stefan C. Hepitès*, 1885, t. I.

Traité d'Électricité et de Magnétisme de James Clerk Maxwell, traduit par M. *G. Seligmann-Lui*, avec notes et éclaircissements par MM. *Cornu*, *Potier* et *Sarrau*. t. I, 3e fascicule.

Traité pratique d'Électricité; par M. *C.-M. Gariel*, 2 vol. in-8°.

Cours de Physique à l'usage des élèves des lycées et collèges de jeunes filles; par M. *Edmond Dubois*, 1 vol. in-8°.

Cours de Physique à l'usage des élèves de la classe de Mathématiques spéciales, t. II, 2e Partie. Optique géométrique; par M. *H. Pellat*, 1 vol. in-8°.

Recherches expérimentales sur l'influence du magnétisme sur la polarisation dans les diélectriques; par M. *Ed. van Aubel*, br. in-8°.

Note sur les rendements mécaniques et électriques obtenus dans les dernières expériences de Creil; par M. *René Arnoux*, br. in-8°.

Zur Analyse der Tonempfindungen; von *E. Mach*, br. in-8°.

Beiträge zur Analyse der Empfindungen; von *E. Mach*, br. in-8°.

Étude des bandes telluriques α, B et A du spectre solaire; par M. *A. Cornu*, br. in-8°.

Vérification expérimentale de la loi de Verdet dans les directions voisines des normales aux lignes de forces magnétiques; par MM. *A. Cornu* et *A. Potier*, br. in-4°.

Rapport sur une question de priorité de M. Mestre au sujet de l'intégraphe de MM. Napoli et Abdank-Abakanowicz.

Ueber den Uebergangswiderstand in dem galvanischen Lichtbogen; von *E. Edlund*, br. in-8°.

Note sur la théorie de l'induction unipolaire; par M. *E. Edlund*, br. in-8°.

Sur la force électromotrice de l'étincelle électrique; par M. *E. Edlund*, br. in-8°.

Note sur le contact physique; par M. *L. Pérard*, br. in-8°.

Ueber die Ablesung von normalbarometern und überhaupt von grösseren Flüssigkeitsoberflächen; von *Thiesen*, br. in-8°.

Nouvelle théorie servant à calculer le mouvement de la lumière dans les cristaux biréfringents symétriques et dans les cristaux hémiédriques non superposés; par M. *Colnet d'Huart*, br. in-8°.

Nouvelle théorie fondée sur l'expérience de la cause de la production de l'électricité dans les piles hydro et thermo-électriques; par M. *E. Delaurier*, br. in-8°.

Procédé pour résoudre facilement les problèmes de Chimie les plus compliqués par des équations tangibles à l'aide des notations et d'une méthode graphique; par M. *E. Delaurier*, br. in-8°.

Almanach-Annuaire de l'électrochimie et de l'électricité; par M. *Firmin Leclerc,* année 1886, 1 vol. in-8°.

Établissement d'une communication téléphonique entre Paris et Reims à l'aide des conducteurs télégraphiques existants; par M. *G. de la Touanne,* br. in-8°.

Téléphonie internationale. Rapport sur les expériences récentes faites aux États-Unis d'Amérique; par M. *F. van Rysselberghe,* br. in-8°.

Die Schwingungsknoten. Theorie der chemischen Verbindungen; von M. *Teplow,* br. in-4°.

Notes on the aspect of the Planet Mars in 1884. Accompanied by sketches made at the observatory Birr Castle; by *Otto Bœddicker,* br. in-4°.

On the changes of the radiation of heat from the Moon during the total eclipse of 1884, october 4, as measured at the observatory Birr Castle; by *Otto Bœddicker,* br. in-4°.

On the geological age of the North Atlantic Ocean; by *Edward Hull,* br. in-4°.

On the Collection of the fossil Mammalia of Ireland in the Science and Art Museum Dublin; by *V. Ball,* br. in-4°.

Discours prononcé par M. *René Goblet,* Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, le samedi 1er mai 1886, à la séance de clôture du Congrès des Sociétés savantes à la Sorbonne, br. in-4°.

La photographie sans objectif; par M. *R. Colson,* 1 vol. in-18.

Sulla dilatazione e sui calori specifici e di trasformazione dell'azotato ammonico; par MM. *Bellati* et *Romanese,* br. in-8°.

Ueber die Darstellung des zusammenhanges zwischen dem gazförmigen und flüssigen Zustande der Materie durch die Isopyknen, br. in-8°.

Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques; par M. *Adrien Palaz* (Thèse), br. in-8°.

Undersögelse af Meteren H7 skjœnket den Norske justerbestyrelse i 1885; par M. le Dr *O.-J. Broch,* br. in-4°.

I Tabeller til brug ved Metronomiske undersögelser; von Dr *O.-J. Broch,* br. in-4°.

Dilatation du mercure; par M. le Dr *O.-J. Broch,* br. in-4°.

Note sur l'étalonnage des sous-divisions d'une règle, sur l'étude des erreurs progressives d'une vis micrométrique et sur le calibrage des thermomètres; par M. le Dr *O.-J. Broch,* br. in-4°.

Accélération de la pesanteur sous différentes latitudes et à différentes altitudes; par M. le Dr *O.-J. Broch*, br. in-4°.

Vérifications de quelques étalons anglais, du kilogramme, de l'once troy et de la livre avoir-du-poids; par M. le Dr *O.-J. Broch*.

Rapport de la Commission mixte chargée de la comparaison du nouveau prototype du kilogramme avec le kilogramme des Archives de France; par M. le Dr *O.-J. Broch*, br. in-4°.

Études thermométriques; par M. *Ch.-Ed. Guillaume*, br. in-4°.

Pesées exécutées au Bureau international des Poids et Mesures, du 1er octobre 1881 au 15 janvier 1883; par M. *W.-J. Marek*, br. in-4°.

Sur quelques analyses chimiques faites pour le Bureau international des Poids et Mesures; par M. *Tornoë*, br. in-4°.

Sur la diffusion de la chaleur; par M. *Léon Godard* (Thèse), br. in-4°.

Sur une nouvelle forme de lame. — Support pour accumulateur; par M. *A. Bandsept*, br. in-8°.

Notice sur C.-C. Person; par M. le Cte *de Chardonnet*, br. in-8°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

# LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1887.

# SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1887.)

## BUREAU.

MM. WOLF, *Président.*
DE ROMILLY, *Vice-Président.*
JOUBERT, *Secrétaire général.*
POLLARD, *Secrétaire.*
RIVIÈRE, *Vice-Secrétaire.*
MAURAT, *Archiviste-Trésorier.*

## CONSEIL.

*Membres résidants :*

MM. ANGOT. 1885.
BENOIT (René).
MALLARD.
WEYHER.

BAILLE. 1886.
GIRARDET.
FRIEDEL.
PELLAT.

CARPENTIER. 1887.
FOUSSEREAU.
LEMONNIER.
PLOIX.

*Membres non résidants :*

MM. WARREN DE LA RUE (Londres). 1885.
LEMSTRÖM (Helsingfors).
MOITESSIER (Montpellier).
NEYRENEUF (Caen).

BRILLOUIN (Toulouse). 1886.
DE CHARDONNET (Besançon).
LERMANTOFF (Saint-Pétersbourg).
ROUSSEAU (Bruxelles).

BIENAYMÉ (Toulon). 1887.
COLNET D'HUART (Luxembourg).
HAGENBACH (Bâle).
RAYET (Bordeaux).

# ANCIENS PRÉSIDENTS.

| | |
|---|---|
| 1873. | MM. FIZEAU. |
| 1874. | BERTIN. |
| 1875. | JAMIN. |
| 1876. | QUET. |
| 1877. | BECQUEREL (Ed.). |
| 1878. | BLAVIER. |
| 1879. | BERTHELOT. |
| 1880. | MASCART. |
| 1881. | CORNU. |
| 1882. | GERNEZ. |
| 1883. | JANSSEN. |
| 1884. | POTIER. |
| 1885. | MAREY. |
| 1886. | SEBERT. |

# MEMBRES HONORAIRES (¹).

MM. **BROCH** (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania.
**FIZEAU** (**A.-H.-L.**), Membre de l'Institut.
**JOULE** (**J.-P.**), de Manchester.
**STOKES** (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir **WILLIAM THOMSON**, F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow.
**BECQUEREL** (**Ed.**), Membre de l'Institut.
**EDLUND**, Professeur de Physique à l'Académie Royale des Sciences de Stockholm.
**BELL** (**Alex. Graham**), de Boston.
**BERTHELOT** (**M.**), Sénateur, Membre de l'Institut.

# MEMBRES A VIE (²).

Puyfontaine (Comte de), 34, avenue Friedland.
* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut, 7, Portland place, Londres, W.

---

(¹) *Membres honoraires décédés :*

| | | |
|---|---|---|
| MM. | A. Becquerel. | 1874-78. |
| | Billet. | 1876-82. |
| | V. Regnault. | 1876-78. |
| | Secchi. | 1876-78. |
| | Jamin. | 1882-86. |

Extrait des Statuts, Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(²) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations, sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. Berthelot, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 60, rue de Grenelle.
Pérot, Dessinateur et Graveur, 117, boulevard de Créteil, Saint-Maur-les-Fossés.
* Niaudet, Ingénieur civil.
Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boul. Saint-Germain.
* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.
* Jamin, Membre de l'Institut.
Gernez, Maître de conférences à l'École Normale Supérieure, 17, rue de Médicis.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.
* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), 15, rue Drouot.
Duclos, Inspecteur primaire à Muret.
* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), député, 3, rue Taitbout.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, à Elbeuf.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.
Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.
Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 6, rue Cassette.
Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.
* Brion, Professeur de physique.
Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.
Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.
Blondlot, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.
Guébhard, Professeur agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 15, rue Soufflot.
Raffard, Ingénieur, 16, rue Vivienne.
Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.
Bordet (Lucien), ancien élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.
Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

MM. * Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.

D'Abbadie, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.

Villiers (Antoine), agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

Javal, Député, Directeur du laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

Lemonnier, ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

Grosseteste (William), Ingénieur, 11, rue des Tanneurs, Mulhouse.

Potier, Ingénieur des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

Martin (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres.

Rodde (Ferd.), 3, cité Magenta.

Friedel, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107 (Rio de Janeiro).

Thollon, à l'Observatoire de Nice.

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

Baron, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.

Buchin, 11, rue Roland, à Bordeaux.

Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 12, rue de la Sorbonne.

* Moncel (comte du), Membre de l'Institut.

Joubert, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

Cabanellas, Ingénieur, à Nanteuil le Haudoin (Oise).

* Bréguet (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.

Pellat, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

Dufet, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard du Montparnasse.

Raynaud, Chef de bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 50, boulevard Saint-Germain.

Leblanc, ancien Élève de l'École Polytechnique, 9, rue Taylor.

Poincaré, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

MM. Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

Romilly (de), 8, rue de Madrid.

Roger, ancien Chef d'institution, 161, rue Saint-Jacques.

Brillouin, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

Abria, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Dollfus (Eugène), Chimiste fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse.

Ogier (Jules), Docteur ès Sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

Gotendorf (Silvanus), 39, rue de Clichy.

Duclaux, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

Koechlin (Horace), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

Brewer (fils), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

Le Cordier (Paul), Docteur ès Sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

Vaschy, Sous-Ingénieur des télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

Palmade, Professeur au lycée de Saint-Etienne.

Godefroy (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution catholique, 175, rue de Vaugirard.

Gouloubitzky, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

Lemoine (E.), Ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

Foussereau, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

Rigout, Préparateur de Chimie à l'École Nationale des Mines.

Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

Cornu, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

Gerboz (P.-C.), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

Bandsept, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

Brisse (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie (Seine).

Vautier (Théodore), Chargé des Conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

Jénot, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

Godard (Léon), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences. 46, rue des Écoles.

Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 24. rue de Saint-Pétersbourg.

Pupin, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

MM. WEISS, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 73, boulevard Saint-Michel.

LEMSTRÖM (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

SEBERT, Colonel d'Artillerie de Marine, Laboratoire Central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

MASSON (G.), Libraire-Editeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MALLARD, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 11, rue de Médicis.

BOITEL, Agrégé de l'Université, Professeur d'Electricité à l'Observatoire de Montsouris, 3, rue Soufflot.

DYBOWSKI, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg, (Bel-Air).

LEDUC, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

RAYMOND, Elève-Ingénieur de la Marine, 29, quai de la Tournelle.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Emile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villers.

TOUANNE (DE LA), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.

VIOLLE, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

MESLIN, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, Place d'Armes.

LYON (Gustave), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

* JENNESSON, Ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

VANDENBROUCQUE, Professeur à l'Institution libre à Marcq-en-Barœul, (Nord).

MATHIAS (Émile), Agrégé-préparateur à la Faculté des Sciences, 75, rue Saint-Honoré.

LAURENT (Léon), Constructeur d'instruments de physique, 21, rue de l'Odéon.

PAVLIDÈS (Démosthènes), 19, avenue du Trocadéro.

DEFFORGES (G.), Capitaine au 16e régiment de ligne, détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre. 123, rue de Grenelle.

# LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

**ABBADIE** (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

**ABDANK-ABAKANOWICZ**, Ingénieur, 5, place du Panthéon.

**ABOILARD** (**Louis**), Constructeur de lampes à incandescence, 76, avenue de Villiers.

**ABRIA**, Membre correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, quai Bacalan, à Bordeaux.

**ALEXANDRE** (**Henri**), Ingén. des Arts et Manufactures, 53, rue Aumaire.

**ALEXÉEFF**, Vice-Président de la Section d'Électricité de la Société impériale polytechnique de Russie, à Saint-Pétersbourg (Russie).

**ALEXIS** (**Ferdinand-Marius**), Contrôleur du Service technique des télégraphes à Marseille.

**ALLUARD**, Correspondant de l'Institut, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

**ALVERGNIAT**, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

**AMAGAT**, Professeur à la Faculté Catholique des Sciences, 25, rue du Plat, à Lyon.

**ANDRÉ** (**Ch.**), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

**ANGOT**, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 6, rue Cassette.

**ANTHONISSEN** (**Joseph**), 21, rue Hauteville.

**ARCHAMBAULT** (**J.**), Professeur en retraite, 9, boulevard du Temple.

**ARMAGNAT**, Ingénieur, 20, rue Delambre.

**ARNOYE**, Professeur au Lycée de Montauban.

**ARRAGON**, Professeur au Lycée de la Guadeloupe.

**ARSONVAL** (**d'**), Directeur du Laboratoire de Physique biologique au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

**ARTHAUD**, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 24, rue Monge.

**AUBERT**, Professeur au Lycée Condorcet, 22, rue Truffaut.

**AUBRY**, Directeur-Ingénieur des télégraphes, en retraite, 8, rue de Lorraine, à Nancy.

**AUGUEZ** (**Émile**), Sous-Directeur des contributions indirectes, 16, rue de Mouy, à Clermont (Oise).

**AYLMER** (**John**), Ingénieur, 4, rue de Naples.

**AYMONNET**, Professeur de Physique, 38, boulevard d'Italie.

**BABLON**, 42, rue Boulard.

**BAGNERIS** (**Eugène**), Professeur agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 25, rue Baron Louis, à Nancy.

MM.

**BAILLAUD**, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

**BAILLE**, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

**BAILLY**, Professeur au Lycée de Carcassonne.

**BANDSEPT**, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

**BANET-RIVET**, Professeur au Lycée de Marseille.

**BARBIER**, Ingénieur-chimiste, 9, rue Fromentin.

**BARBIER (Paul)**, Ingénieur, 5, place du Panthéon.

**BARDY**, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

**BARON**, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

**BARRAUD (Ph.)**, Docteur en Médecine, 23, rue de Fleurus.

**BATCHELOR (Charles)**, Administrateur de la Compagnie Edison.

**BAUDOT**, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 53, rue de Rennes.

**BEAU (Henri)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, 226, rue Saint-Denis.

**BÉCORDEL (H. de)**, Receveur principal à Saint-Amand (Cher).

**BECQUEREL (Ed.)**, Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

**BECQUEREL (Henri)**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique, 57, rue Cuvier.

**BÉDOREZ**, Directeur des Études à l'École Monge, 145, boulevard Malesherbes.

**BEDOS**, Professeur au Lycée, 31, rue de la République, à Carcassonne.

**BEGHIN (Auguste)**, Professeur à l'École nationale des Arts industriels, 18, rue Latine, à Roubaix.

**BELL (Alexander Graham)**, 95, Milk Street, Boston, Mass. U. S. A.

**BELLATI (Manfredo)**, Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

**BELLOT (Jules)**, 28, rue Saint-Lazare.

**BENAVENTE Y MONTALVO (Antonio)**, Ancien professeur de Physique au Collège de Rioseco, Directeur du Collège de Villada, Province de Valentia (Espagne).

**BENAVIDES (Francisco da Fonseca)**, Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

**BENOIT (René)**, Docteur ès sciences, premier adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

**BERGER (Georges)**, Directeur général de l'exploitation de l'Exposition universelle de 1889, 8, rue Legendre.

**BERGERON**, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

**BERGON**, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

**BERGONIÉ**, Agrégé, Maître de Conférences de Physique, à la Faculté de Médecine, 29, rue de Persac, à Bordeaux.

**BERNARD (Alfred)**, Professeur au Lycée de Périgueux.

**BERSON**, Professeur au Lycée Charlemagne, 32, rue Monge.

**BERTHELOT**, Sénateur, Membre de l'Institut, Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, 3, rue Mazarine.

MM.

**BERTHOLOMEY**, Professeur au Collège, 26, quai Baluze, à Tulle.

**BERTRAND (J.)**, Membre de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

**BERTRAND (A.-L.)**, Capitaine du Génie attaché à la Section technique du Génie au Ministère de la Guerre, 8, rue Saint-Dominique.

**BESANÇON (M.-J.)**, Répétiteur à l'École Turgot, 152, boulevard Voltaire.

**BESOMBES (Noël)**, Ingénieur des télégraphes, 2, place Saint-Michel, à Marseille.

**BESSON (Léon)**, Ancien Officier de Marine, 4, rue des Martyrs.

**BEZODIS**, Professeur au Lycée Henri IV, 61, rue Claude-Bernard.

**BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.**

**BICHAT**, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, 1 *bis*, rue des Jardiniers.

**BIENAYMÉ**, Ingénieur en chef de la marine à Toulon.

**BILLON-DAGUERRE (Armand Di)**, 123, boulevard Saint-Michel.

**BISCHOFFSHEIM (Raphaël-Louis)**, Député, 3, rue Taitbout.

**BLONAY (Roger de)**, 23, rue Larochefoucauld.

**BLONDLOT**, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

**BOBILEFF**, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**BOITEL**, Agrégé de l'Université, Professeur d'électricité à l'Observatoire de Montsouris, 3, rue Soufflot.

**BONAVITA**, Professeur au Lycée de Bastia.

**BONIOL**, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe.

**BONTEMS (Emile)**, Lieutenant-Trésorier au 12e chasseurs, à Lyon.

**BONVALOT**, Ingénieur, 1, place Saint-Jean, à Dijon.

**BORDET (Lucien)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, Inspecteur des Finances, 181, boulevard Saint-Germain.

**BOREL**, Docteur en Médecine, à Puy Saint-Martin (Drôme).

**BORGMANN**, Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**BOUANT**, Professeur au Lycée Charlemagne, 20, rue Monsieur-le-Prince.

**BOUCHARD**, Sous-Ingénieur des Télégraphes, 19, quai d'Orléans, à Rennes.

**BOUCHER**, Préfet des Études au Collège Chaptal, 45, boulevard des Batignolles.

**BOUDET DE PÂRIS** (le Dr **M.**), ancien Interne des hôpitaux, 4, rue de l'Isly.

**BOUDRÉAUX**, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

**BOULANGER**, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

**BOULARD**, Ingénieur, 13, rue Vavin.

**BOURBOUZE**, Chef des travaux de Physique à l'École supérieure de Pharmacie, 340, rue Saint-Jacques.

**BOURGEOIS**, Répétiteur à l'École Polytechnique, 23, quai de la Tournelle.

**BOURGET**, Recteur de l'Académie de Clermont.

**BOURRUT-DUVIVIER**, 89, rue de Ham, à Brest.

**BOUSQUET**, Directeur de l'École normale d'Agen.

**BOUTAN**, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

MM.

**BOUTET DE MONVEL**, Professeur en retraite, 1, rue des Deux-Portes-Saint-Jean.

**BOUTY**, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

**BRACHET**, Ingénieur, 2, rue d'Égypte, à Lyon.

**BRANLY**, Professeur à l'Ecole libre des hautes études scientifiques et littéraires, 42, avenue de Breteuil.

**BRANVILLE (de)**, Ingénieur civil, constructeur d'appareils électriques, 15, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève.

**BREWER (William J.)**, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

**BRIEU (Georges)**, Professeur à l'École Normale de Périgueux.

**BRILLOUIN**, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 11 *bis*, rue Laplanche.

**BRISAC**, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne du gaz, 7, Cité Malesherbes.

**BRISSE**, Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie.

**BROCH (O.-J.)**, Professeur à l'Université de Christiania (Norwège), au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

**BROWNE (H.-V.)**, Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

**BRUNHES**, Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

**BRÜNNER**, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

**BUCHIN**, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

**BUGUET**, Professeur au Lycée de Moulins.

**BUISSON (Maxime)**, Chimiste, rue Saint-Thomas, à Évreux.

**CABANELLAS (G.)**, Ingénieur, à Nanteuil-le-Haudoin.

**CADIAT**, Ingénieur, 24, rue Meslay.

**CAEL**, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 31, rue Saint-Guillaume.

**CAILLETET**, Membre de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine, et 75, boulevard Saint-Michel.

**CAILLOL DE PONCY**, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

**CALMETTES**, Professeur au prytanée militaire de la Flèche.

**CARAGUEL**, Avocat, Directeur du Crédit foncier de France, à Albi, 4, rue Nego-Danos.

**CARPENTIER**, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

**CASALONGA**, Ingénieur civil, 15, rue des Halles.

**CASPARI**, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.

**CAVAILLÉ-COLL**, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

**CAVÉ**, Propriétaire au Château de Notz-Marafin, par Mézières en Brenne (Indre).

**CAZES**, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

MM.

**CHABERT** (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.

**CHABRERIE**, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

**CHAMAND** (**Joseph**), capitaine adjudant-major au 32e rég. d'infanterie, 78, rue Colbert, à Tours.

**CHAMANTOFF** (**Nicolas**), Préparateur au cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**CHAMBERT** (**Paul**), rue de la Manufacture, à Châteauroux.

**CHAPERON** (**Georges**), ancien élève de l'Ecole Polytechnique, 28, quai de la Guillotière, à Lyon.

**CHAPPUIS**, Professeur à l'École centrale, 7, rue Laplanche.

**CHAPPUIS** (**Pierre**), attaché au Bureau International des Poids et Mesures au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

**CHAPUY** (**Paul**), Élève Ingénieur des Mines, à l'École Nationale des Mines.

**CHARDONNET** (**le comte de**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon.

**CHAUSSEGROS**, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.

**CHAUTARD**, Doyen de la Faculté libre des Sciences de Lille.

**CHAUVEAU**, Professeur de Physique, 5, rue Corneille.

**CHAVES** (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

**CHERVET**, Professeur au Lycée Henri IV, 18, rue Nicole.

**CHRÉTIEN**, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).

**CIVIALE** (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

**CLAVEAU**, Professeur au Lycée de Montluçon.

**CLAVERIE**, Professeur au Lycée de Vanves, 6, rue Poussin, à Auteuil.

**COLARDEAU**, Professeur au Lycée de Lille.

**COLNET D'HUART** (**de**), Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

**COLNET D'HUART** (**François de**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Athénée de Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

**COLSON**, Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

**COMBES** (**A.**), Ancien élève de l'École Polytechnique, 6, rue du Val-de-Grâce.

**COMBETTE**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue Claude-Bernard.

**CORVISY**, Professeur au Lycée, 2, rue du Poirier, à Saint-Omer.

**CORNU**, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

**COULIER**, Membre du Comité de Santé des armées, 26, rue Gay-Lussac.

**COUPIER**, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

**COURQUIN** (**l'abbé**), Professeur à l'Institution libre du Sacré-Cœur à Tourcoing.

**COURTOY**, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles.

**COUSTÉ**, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 9, boulevard de l'Odet, à Quimper, et 5, Place Saint-François-Xavier.

**COUVREUX**, Juge au Tribunal de Châtillon-sur-Seine.

**CROIX**, Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

MM.

**CROS** (**Ch.**), 9, rue Christine.

**CROVA,** Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, Montpellier.

**CUÉNOD,** Ingénieur électricien, 10, rue Voltaire, à Genève.

**CURIE** (**Pierre**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 5, avenue de Sceaux, à Fontenay-aux-Roses.

**CUSCO** (le Dr), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 79, rue des Petits-Champs.

**DAGUENET,** Professeur au Lycée, 8, rue Montbauron, à Versailles.

**DALMAU,** Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).

**DALY,** Docteur en médecine, à Angoulême.

**DAMBIER,** Professeur au Collège Stanislas, 151, rue de Rennes.

**DAMIEN,** Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille, 49, rue Brûle-Maison.

**DANIEL,** ancien Professeur à l'École Centrale, à Saint-Mâlo-de-Lalande (Manche).

**DAVID** (**André**), rue Buisson, à Saint-Étienne.

**DEBRAY,** Membre de l'Institut, 16, rue Vauquelin.

**DEDET,** Professeur au Lycée d'Albi.

**DEFFORGES** (**G.**), Capitaine au 16e régiment de ligne, détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 123, rue de Grenelle.

**DELATTRE** (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 20, rue Saint-Georges.

**DELAURIER,** Ingénieur, 77, rue Daguerre.

**DELEUIL,** Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

**DELEVEAU,** Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

**DEMERLIAC,** Professeur au Lycée de Tourcoing.

**DEMICHEL,** Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

**DEPREZ** (**Marcel**), Membre de l'Institut, 111, rue de Rennes.

**DESCHIENS,** Constructeur d'instruments de Physique, 123, boulevard St-Michel.

**DESEILLIGNY** (**l'abbé**), à l'Archevêché de Rouen.

**DESEILLIGNY** (**Jules**), au 28e régiment d'infanterie, caserne Saint-Vivien, à Rouen.

**DESLANDES,** ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

**DESLANDRES,** ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue de Rennes.

**DESPLATS,** Professeur Agrégé de la Faculté de Médecine, 221, faubourg Saint-Honoré.

**DESPRATS,** Principal du Collège de Villefranche-sur-Saône (Rhône).

**DEVAUX,** Professeur au Lycée de Grenoble.

**D'HENRY** (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

**DIDIER** (**P.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 9, rue de l'Abbé-de-l'Épée.

**DIETRICH** (**Ch.**), Dessinateur et graveur, 3, rue Hautefeuille.

**DINI,** Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 49, rue Saint-Placide.

**DOLLFUS** (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

MM.

**DOUCEUR**, Directeur des postes et télégraphes, retraité, 42, rue Jouffroy.

**DOULIOT**, Principal du Collège d'Épinal.

**DRINCOURT**, Professeur au Collège Rollin, 5, rue de Laval.

**DUBOIS**, Professeur au Lycée, 31, rue Cosette, à Amiens.

**DUBOSCQ (Albert)**, Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

**DUBOSCQ (Théodore)**, Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

**DUCHEMIN**, Ingénieur, 25, rue Clapeyron.

**DUCLAUX**, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

**DUCLOS**, Inspecteur primaire à Muret.

**DUCOMET**, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.

**DUCRETET**, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

**DUFET**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard Montparnasse.

**DUFOUR (Henri)**, Professeur de Physique à la Faculté des Sciences, 22, rue Maupas, à Lausanne (Suisse).

**DUHEM**, Agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

**DUJARDIN**, 89, boulevard du Montparnasse.

**DUMARTIN (Horace)**, Ingénieur civil, 28, rue d'Argivillers, à Versailles.

**DUMOULIN-FROMENT**, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

**DUPRÉ**, Inspecteur de l'Académie de Paris, 60, rue des Tournelles.

**DUPUY**, Ingénieur, 17, rue Condorcet, à Lisieux.

**DUSSY**, Professeur au Lycée, 14, rue Berbisey, à Dijon.

**DUTER**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Bertin Poiré, Paris.

**DYBOWSKI**, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg.

**EBEL**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la C[ie] Edison, 14, rue du Treuil, à Saint-Etienne.

**EDELBERG**, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

**EDLUND**, Professeur de Physique à l'Académie royale des Sciences de Stockholm (Suède).

**EGOROFF (Nicolas)**, Professeur de physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

**EICHTHAL (baron d')**, 42, rue Neuve-des-Mathurins.

**ÉLIE**, Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

**ESTRADA (Francisco)**, Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

**ÉTARD (Alexandre)**, 49, boulevard Voltaire.

**FARGUES DE TASCHEREAU**, Professeur au Lycée Condorcet, 30, rue des Aubépines, à Bois-Colombes.

**FAURE (Camille A.)**, Ingénieur, The electrical accumulator C°, Lister avenue, Newark, New Jersey (U. S. A).

**FAVÉ**, Ingénieur hydrographe, 83, rue de l'Université.

MM.

**FAVARGER**, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

**FAYE**, Membre de l'Institut, 2, boulevard d'Enfer.

**FERNET**, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

**FERRAY (Édouard)**, Pharmacien, rue du Grand-Carrefour, à Evreux.

**FERRO CARDOSO (Daniel Pedro)**, Ingénieur, 123, boulevard Saint-Germain.

**FINK**, Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris, 42, rue Lhomond.

**FIZEAU**, Membre de l'Institut, 3, rue de la Vieille-Estrapade.

**FLAMARY**, Professeur à l'École Normale de Châteauroux.

**FONTAINE (Hippolyte)**, 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.

**FONTAINE**, Chimiste, 20, rue Monsieur-le-Prince.

**FOURNIER** (le Dr **Alban**), à Rambervillers (Vosges).

**FOURTEAU**, Proviseur du Lycée de Saint-Etienne.

**FOUSSEREAU**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

**FRICKER** (le **Dr**), 39, rue Pigalle.

**FRIDBLATT (A.)**, Sous-Ingénieur des télégraphes, à Alger.

**FRIEDEL**, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

**FRON**, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 41, rue Madame.

**GAIFFE**, Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

**GARBAN**, Inspecteur d'Académie, à Limoges.

**GARBE**, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

**GARÉ** (l'Abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

**GARIEL (C.-M.)**, Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

**GARNUCHOT**, Professeur au Collège, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

**GAUBERT**, Horloger-Électricien, à Gruissan (Aude).

**GAUTHIER-VILLARS**, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

**GAVARRET**, Inspecteur général de l'enseignement supérieur, 73, rue de Grenelle.

**GAY**, Professeur au Lycée, 36, rue de la Gare, à Lille.

**GAY**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Mézières.

**GAYON**, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 56, rue de la Benauge, à La Bastide-Bordeaux.

**GENDRON (Rudolph)**, Préparateur à l'École libre des hautes études scientifiques et littéraires, 12, rue Campagne-Première.

**GÉRARD (Anatole)**, Ingénieur mécanicien, 39, avenue Marceau, à Courbevoie.

**GÉRARD (Éric)**, Professeur à l'Institut électrotechnique de Montefiore, à Liège.

**GERBOZ (P. C.)**, Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

**GERNEZ**, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 17, rue Médicis.

**GHESQUIER** (l'Abbé), Professeur au Collège, 76, rue du Collège, à Roubaix.

MM.

**GILLET DE GRANDMONT** (Dr), Secrétaire général de la Société de médecine pratique, 4, rue Halévy.

**GIRARDET**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard.

**GIRAUD**, Ingénieur mécanicien, 18, rue de Paris, à Clichy.

**GIRAULT**, Professeur au Collège Chaptal, 8, rue Claude-Pouillet.

**GIROUX**, Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

**GLASEWSKI** (**P.-J.-Alexandre**), Commissionnaire en Instruments de Physique, 59, rue de la Butte-Chaumont.

**GODARD** (**Léon**), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 46, rue des Écoles.

**GODFRIN**, Professeur au Lycée de Valenciennes.

**GODEFROY** (l'Abbé **L.**), Professeur de Chimie, 175, rue de Vaugirard.

**GODY** (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

**GOLAZ**, Constr. d'instruments de Physique, 282, rue Saint-Jacques.

**GOLOUBITZKY** (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

**GOMEZ** (**Francisco Lopez**), Professeur à l'Institut de Valladolid (Espagne).

**GOSSART** (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

**GOSSART**, Professeur au Lycée, rue de l'Académie, à Caen.

**GOSSE**, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

**GOSSIN**, Proviseur au Lycée de Lille.

**GOTENDORF** (**Silvanus**), 39, rue de Clichy.

**GOULIER**, Colonel du Génie, 6, rue d'Estrées.

**GOURÉ DE VILLEMONTÉE**, Professeur à l'École normale de Cluny.

**GOUTY**, Ingénieur, 51, Chemin du Roveray, à Genève (Suisse).

**GOUY**, Professeur suppléant à la Faculté des Sciences, 2, place des Squares, à Lyon.

**GOVI**, Sénateur, Professeur à l'Université de Naples, 5, via Nuova Pizzofalcone (Italie).

**GOWER** (**Frédérick-Allen**), Ingénieur, 44, rue François Ier.

**GRAMMACINI** (**J.**), Receveur-Chef du Poste central des télégraphes, à Paris, 103, rue de Grenelle.

**GRAVIER** (**Alfons**), Ingénieur, 7, rue Faraday.

**GRAY** (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co, 106, Cannon street, Londres.

**GRAY** (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works Co, Silwertown, Essex, à Londres.

**GRÉHANT** (Dr), Aide-naturaliste au Muséum d'Histoire naturelle, 18, rue Flatters.

**GRELLEY**, Directeur de l'École Supérieure du Commerce, 102, rue Amelot.

**GRENIER** (**Félix**), Préfet des Deux-Sèvres, à Niort.

**GREZEL** (**Louis**), Professeur de Physique à Nantua.

**GRIPON**, Professeur à la Faculté des Sciences, 5, faubourg de Paris, à Rennes.

MM.

**GRIVEAUX**, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir (Lyon).

**GROGNOT** (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

**GROOT** (le P. **L.-Th. de**), 11, rue des Récollets, à Louvain (Belgique).

**GROSSETESTE** (**William**), Ingénieur civil, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse.

**GUEBHARD**, Professeur Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 15, rue Soufflot.

**GUELPA**, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

**GUERBY**, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

**GUÉRIN** (**Émile**), Fabricant d'appareils électriques, 5, rue Montmorency.

**GUILLAUME**, Docteur ès sciences attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil (Sèvres).

**GUILLEBON** (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

**GUNTZ**, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

**HAGENBACH**, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

**HANRIOT**, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt (Meurthe-et-Moselle).

**HARDY** (Dr E.), Chef des travaux chimiques de l'Académie de Médecine, 90, rue de Rennes.

**HAUCK** (**W.-J.**), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kettenbrücken Gasse, à Vienne (Autriche).

**HELOUIS**, Ingénieur, 17, rue Reine-Henriette, à Colombes.

**HENOCQUE** (le Dr), 87, avenue de Villiers.

**HEPITÈS** (**Stefan**), Ingénieur, Directeur général du Ministère des Domaines à Bucarest (Roumanie).

**HESEHUS** (**N.**), Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**HILLAIRET** (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 9, rue Roquépine.

**HOSPITALIER**, Ingénieur des arts et manufactures, 6, rue du Bellay.

**HOSTEIN**, Professeur au Lycée, 37, rue Isabey, Nancy.

**HUDELOT**, Répétiteur à l'École Centrale, 6, rue Saint-Louis en l'Ile.

**HUGO** (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

**HUGON**, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

**HUGUENY**, Prof. honoraire de Faculté, 19, rue des Frères, à Strasbourg.

**HURION**, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

**HUSSON** (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

**IMBERT** (**Armand**), Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

**INFREVILLE** (**G. d'**), Électricien de la Western Union Telegraph C°, 408 West, 43rd street, à New-York (États-Unis).

MM.

**ISAMBERT**, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de la Préfecture, à Poitiers.

**IVANOFF (Basile)**, Licencié ès sciences (maison Ivanoff, à Simpheropol (Russie).

**JABLOCHKOFF**, Ingénieur, 21, rue Parmentier, à Neuilly-sur-Seine.

**JANNETTAZ (Ed.)**, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 9, rue Linné.

**JANNIN**, Professeur de Physique en retraite, 10, rue du Jardin national, à Albi.

**JANSSEN**, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

**JARRE**, 2, rue des Pyramides.

**JAVAL**, Député, Directeur du Laboratoire d'Optalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

**JÉNOT**, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

**JEUNET**, Professeur au Lycée d'Angoulême.

**JOLY**, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 72, rue Claude-Bernard.

**JOLY (Léon)**, Inspecteur du Crédit Foncier, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

**JOUBERT**, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

**JOUBIN**, Agrégé-préparateur au Collège de France, 35, rue des Écoles.

**JOULE (J.-P.)**, F. R. S., 13, Wardle Road, Sale, Manchester (Angleterre).

**JUNGFLEISCH**, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

**JUSSIEU (F. de)**, Imprimeur-Directeur du journal *l'Autunois*, à Autun.

**KAREIS**, Professeur de Physique, à Vienne (Autriche).

**KERANGUÉ (Yves de)**, Capitaine adjudant-major au 23e bataillon de chasseurs à pied, à Limoges.

**KŒCHLIN (Horace)**, Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

**KŒNIG**, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

**KOTCHOUBEY**, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

**KOWALSKI**, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 14, rue Ravez, à Bordeaux.

**KRETZ**, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

**KROUCHKOLL**, Licencié ès Sciences, 17, faubourg Saint-Jacques.

**LACOINE (Émile)**, Ingénieur-Électricien, à Constantinople (Turquie).

**LAFOREST (Comte de)**, Colonel du 6e de ligne, à Saintes.

**LALANCE (l'Abbé)**, Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

**LALANDE**, Libraire, à Brives.

MM.

**LALANDE (de)**, Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 87, rue de Rennes.

**LALEU**, Conducteur des Ponts et Chaussées, 12, rue de Ponthierry, à Melun.

**LAMANSKY**, Professeur à l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

**LAMON**, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

**LAMY (Gaspard)**, 52, Grande-Rue, à Issy-sur-Seine.

**LANGLADE**, Ingénieur civil, 22, rue Saint-Augustin.

**LARNAUDE**, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Aulnay par Maule (Seine-et-Oise).

**LAROCHE**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

**LAROCQUE**, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

**LATCHINOW**, Professeur à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

**LAURENT (Léon)**, Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

**LAVIÉVILLE**, Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue de Lisbonne.

**LAW (Arthur B.)**, 49 ter, allées d'Amour, à Bordeaux.

**LAWTON (George Fleetwood)**, Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

**LEBLANC**, ancien élève de l'École Polytechnique, 132, boulevard Magenta.

**LEBOSSÉ (l'Abbé)**, Professeur de Physique au Collège Saint-Jean, 12, rue de Béthune, à Versailles.

**LECHAT**, Professeur en retraite, 30, rue Gay-Lussac.

**LE CHATELIER (Henry)**, Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

**LE CHATELIER (André)**, Ingénieur des constructions navales, à Toulon.

**LE CHATONNIER**, Préparateur de Physique au Lycée Condorcet.

**LECOQ DE BOISBAUDRAN (François)**, Correspondant de l'Institut, à Cognac, et 36, rue de Prony.

**LE CORDIER (Paul)**, Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger, 15, rue de Tanger, Alger.

**LEDEBOER**, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

**LE DOLLEY**, Contrôleur des Télégraphes, 15, rue Terme, à Lyon. Central.

**LEDUC**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

**LEFEBVRE**, Capitaine au 95e d'infanterie, à Bourges.

**LEFEBVRE**, Professeur au Lycée de Versailles, 18, rue Montbauron.

**LEFEBVRE (Victor)**, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 70, avenue du Maine.

**LELORIEUX**, Professeur au Lycée Lakanal, 110, boulevard Arago.

**LEMOINE (E.)**, ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

**LEMOINE (G.)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

**LEMONNIER**, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

**LEMSTRÖM (Selim)**, Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

MM.

**LEPERCQ** (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

**LERMANTOFF**, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**LE ROUX**, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

**LEROY**, Professeur au Lycée de Vanves, 4, rue de la Grande-Chaumière.

**LEROY**, Médecin-Major au 6e cuirassiers, à l'École Militaire.

**LESAGE**, Professeur au Lycée de Châteauroux.

**LESCHI**, Professeur au Collège de Corte.

**LESPIAULT**, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

**LÉTANG** (**Paul**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 31, boulevard de Port-Royal.

**LÉVY**, Chef d'Institution, 20, rue Vauquelin.

**LÉVY** (**Armand**), Professeur au Lycée de Bordeaux, 226, rue Ste-Catherine.

**LIBERT** (**J.-C.-D.**), Professeur au Collège de Morlaix.

**LIPPICH** (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

**LIPPMANN**, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

**LISLEFERME** (**de**), Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).

**LOIR**, Directeur-Ingénieur des télégraphes, à Lyon.

**LORRAIN** (**James-Grieves**), Ingénieur civil, 1, Wardrobe Place Doctors Commons, London. E. C.

**LOUGUININE**, Officier supérieur de l'armée russe, 4, rue Mesnil.

**LUCCHI** (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée Royal Tito Livio, Padoue (Italie).

**LUTZ**, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

**LYON** (**Gustave**), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

**MACÉ DE LÉPINAY**, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

**MACH** (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

**MADAMET**, Directeur de l'École d'application du Génie maritime, 84, boulevard Saint-Michel.

**MAGNE**, Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

**MAICHE**, Ingénieur électricien, 3, rue Louis-le-Grand.

**MAIGRET** (**Dr**), 44, avenue de la République, Grand-Montrouge.

**MAISONOBE**, Lieutenant au 6e régiment d'Artillerie, à Clermont-Ferrand.

**MALLARD**, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

**MALOSSE**, Professeur agrégé à l'École de Médecine, 2, rue Marceau, à Montpellier.

**MANEUVRIER**, Agrégé de l'Université, attaché à l'École des Hautes Études, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MM.

**MAREY**, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

**MARIA (Emile)**, Professeur à l'École Turgot, 12, rue de Longchamps.

**MARIÉ-DAVY**, Directeur honoraire de l'Observatoire météorologique de Montsouris, 21, rue Pierre-Guérin.

**MARTIN (Ch.)**, rue de Bonneval, à Chartres.

**MARTIN (Joseph)**, 41, rue du Colisée, à Visé (Belgique).

**MARTINET**, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 5, rue de l'Amiral Courbet.

**MASCART**, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 60, rue de Grenelle.

**MASSE**, Professeur au Lycée de Toulon.

**MASSIEU**, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

**MASSON (G.)**, Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

**MATHIAS (Émile)**, Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 75, rue Saint-Honoré.

**MAUMENÉ**, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lyon, et 91, avenue de Villiers.

**MAUPEOU D'ABLEIGES (de)**, Ingénieur de la Marine, Membre du Conseil des travaux, 30, rue Vittal (Passy).

**MAURAT**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.

**MEAUX (de)**, Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

**MENDELSSOHN (Maurice)**, Docteur en Médecine, 21, rue de Marignan.

**MÉNIER (Henri)**, 5, avenue Van-Dyck.

**MERCADIER**, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

**MERGIER**, Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 133, boulevard Saint-Michel.

**MERLIN (Paul)**, Professeur au Lycée Condorcet, 7, rue de la Montagne Sainte-Geneviève.

**MÉRITENS (de)**, Ingénieur, 73, rue Pigalle.

**MERSANNE (de)**, Ingénieur-Électricien.

**MESLIN**, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, place d'Armes.

**MESTRE**, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur au chemin de fer de l'Est, 132, rue Lafayette.

**MEYLAN**, Ingénieur, Secrétaire de la rédaction du Journal *La Lumière électrique*, 31, boulevard des Italiens.

**MEYSENHEIM (Louis-Maria)**, Chef de Section des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics, 4, avenue de la Gare, à Nanterre-sur-Seine.

**MINARY**, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

**MINGASSON**, Professeur au Lycée de Vanves.

**MINNE**, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue de la Glacière.

**MOITESSIER (Albert)**, Professeur à l'École de Médecine de Montpellier, Faubourg Boutonnet.

**MOLTENI**, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

**MOLZ**, Ingénieur, 149, rue de Rennes.

MM.

**MONDOS (Robert)**, Ingénieur, 89, rue Nollet.

**MONTHIERS** (Maurice), 135, boulevard Malesherbes.

**MONOYER**, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

**MONTEFIORE (Levi)**, Ingénieur, Sénateur, Fondateur de l'Institut électro-technique à Liège.

**MONTEIL (Silvain)**, Juge de Paix à Mercœur (Corrèze).

**MORANA (Ignace)**, Électricien, 44, rue de Lausanne, à Genève.

**MORELLE**, Chef des travaux pratiques de la Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Caumartin, à Lille.

**MORELLE**, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.

**MORRIS**, Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 26, rue Martignac.

**MORS**, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 8, avenue de l'Opéra.

**MOSER (Dr James)**, Docent à l'Université, Schwarz Spanier St. 16, Vienne (Autriche).

**MOUCHEZ** (l'Amiral), Directeur de l'Observatoire de Paris.

**MOUCHOT**, Professeur en retraite, 39, rue de Fleury, à Fontainebleau.

**MOUTIER**, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, 13, rue Gay-Lussac.

**MOUTON**, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 1, rue de l'Audience, à Fontenay-sous-Bois.

**MUIRHEAD** (Dr **Alexandre**) F. C. S., 5, Cowley Street, Westminster, S. W. Londres.

**MUIRHEAD (John)**, Fabricant d'appareils électriques, à Londres, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

**NACHET (A)**, Constructeur d'instruments d'optique, 17, rue Saint-Séverin.

**NACHET** (Jeune), Constructeur d'instruments d'optique, 21, rue Caumartin.

**NAMBA MASSACHI**, à l'Université, Dépt des Sciences, à Tokio (Japon).

**NAPOLI (David)**, Inspecteur du matériel, chef du Laboratoire des Essais au chemin de fer de l'Est, 34 *ter*, rue de Dunkerque.

**NERVILLE (de)**, Sous-Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

**NEUBURGER**, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

**NEYRENEUF**, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

**NOAILLON**, Ingénieur civil, à la Chênée, près Liège (Belgique)

**NODON (Albert)**, Ingénieur civil, 39, rue des Écoles.

**NOË (Charles)**, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 11, rue Laromiguière.

**NOGUÉ (Émile)**, Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, rue d'Assas, 138.

**NOTHOMB (Louis)**, Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, 91, avenue Louise, à Bruxelles.

**ODINOT**, Professeur au Collège, 1, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Épinal.

MM.

**OFFRET**, Professeur au Lycée, 9, rue Martin-du-Nord, à Douai.

**OFFRET**, Agrégé-préparateur au Collège de France, 23, boulevard Saint-Germain.

**OGIER (Jules)**, Docteur ès sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

**OLIVIER (Louis)**, Docteur ès sciences, 90, rue de Rennes.

**OLLIVIER (A.)**, Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

**ONDE**, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

**ORDUÑA**, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

**ORLÉANS** (Comte d'), Colonel d'État-Major en retraite, 9, rue de Mailly.

**PAILLARD-DUCLÉRÉ (Constant)**, Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

**PAILLOT**, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Lille.

**PALAZ (Adrien)**, Dr ès Sciences, attaché au Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

**PALMADE**, Professeur au Lycée de Saint-Etienne.

**PALMADE**, Capitaine du Génie, à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

**PANZANI (J.-P.)**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand.

**PARAYRE** (l'abbé), Licencié ès Sciences physiques, 9, rue Vineuse.

**PARENTHOU (Émile)**, Ingénieur, 20, rue des Grands-Augustins.

**PARISSE**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

**PARMENTIER**, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

**PASQUIER** (Dr), rue Saint-Nicolas, à Evreux.

**PASSOT** (Dr), Aide-Major au 122e de ligne, à Montpellier.

**PAUCHON (Ernest)**, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 49, rue Ecuyère, à Caen.

**PAUL (Amédée)**, Directeur de l'Eastern Telegraph Co, à Bone (Algérie).

**PAUMÈS**, Docteur en Médecine, rue Pergaminien, à Toulouse.

**PAVLIDÈS (Démosthènes)**, Étudiant en Médecine, 19, avenue du Trocadéro.

**PAYN (John)**, Directeur de l'Eastern Telegraph Co, au Caire (Egypte).

**PEDROSO (Carlos de)**.

**PELLAT (H.)**, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

**PELLERIN**, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

**PELLIN (Philibert)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

**PÉRARD (L.)**, Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

**PÉRIGNON**, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

**PERNET**, Professeur de Physique en retraite, faubourg de Paris, Maison de l'Arc, à Dôle.

**PERNET** (Dr J.), Gœbenstrasse, Berlin.

**PÉROT**, Dessinateur et Graveur, 117, boulevard de Créteil, à Saint-Maur-les-Fossés.

MM.

**PERROT (Paul)**, Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 191, boulevard Pereire.

**PÉTROFF**, Professeur à l'Institut Technologique de Saint-Pétersbourg (Russie).

**PEUCHOT**, Dessinateur et graveur, 10, rue de Nesles.

**PHILBERT**, Ancien receveur des télégraphes, 37, rue des Plantes, au Mans.

**PHILIPPE**, Professeur au Collège Sainte-Barbe, 21, rue Paradis.

**PHILIPPON (Paul)**, Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, 166, boulevard Montparnasse.

**PICOU**, Ingénieur des arts et manufactures, à l'usine Edison, 5, rue du Parc, à Ivry-sur-Seine.

**PILLEUX**, 16, rue du Prévôt, à Beauvais.

**PINEL (Charles-Louis)**, Ingénieur mécanicien, 26, rue Méridienne, à Rouen.

**PIONCHON**, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

**PITANGA (Epiphanio)**, Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 50, rua do Marquez d'Abrantes.

**PLANTÉ (Gaston)**, 56, rue des Tournelles.

**PLATZER (H.)**, Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

**PLOIX (Charles)**, Ingénieur hydrographe de la Marine, 47, rue de Verneuil.

**POINCARÉ**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

**POIRÉ**, Professeur au Lycée Condorcet, 95, boulevard Malesherbes.

**POLLARD (Jules)**, Ingénieur des constructions navales, professeur à l'École d'application du Génie maritime, 92, rue du Bac.

**PONSELLE (Georges)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 19, rue de Madrid.

**POPP (Victor)**, Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 6, rue Franche-Comté.

**POTIER**, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

**POUSSIN (Alexandre)**, Ingénieur manufacturier, Château de Thuit-Hébert, par Bourgtheroulde (Eure).

**PRÉAUBERT (E.)**, Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

**PRÉSIDENT** (le) de la Société de Physique de Londres.

**PRÉSIDENT** (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

**PUJALET**, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

**PUPIN**, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

**PUYFONTAINE** (Comte de), 34, avenue Friedland.

**RADIGUET (fils)**, Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

**RAFFARD**, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

**RAMEAU (l'abbé)**, Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

**RANQUE (Paul)**, Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

**RAYET**, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

**RAYMOND**, Ingénieur des constructions navales, à Lorient.

MM.

**RAYNAUD**, Chef de bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 50, boulevard Saint-Germain.

**RECHNIEWSKI**, Ingénieur, 5, place du Panthéon.

**RECOURA (Albert)**, Agrégé préparateur au Collège de France, 18, rue de la Sorbonne.

**REDIER**, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

**RÉGNARD**, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.

**REISET**, Membre de l'Institut, 2, rue de Vigny.

**RENARD**, Chef de bataillon du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

**REY (Casimir)**, Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

**REYNIER**, Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

**RIBAIL (Xavier)**, Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 50, rue Truffault.

**RIBAN (Joseph)**, Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des Hautes Études, 85, rue d'Assas.

**RICHARD**, Administrateur délégué de la Société générale des Téléphones, 4, rue d'Aboukir.

**RICHARD**, Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

**RICHET (Th.)**, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

**RIGOUT**, Préparateur de Chimie à l'École des Mines.

**RIVIÈRE**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

**ROBIN (P.)**, Directeur de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

**ROCANDÉ (Olivier R.)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 65, quai de Seine, à Courbevoie.

**RODDE (Ferd.)**, 7, rue du Delta.

**RODDE (Léon)**, 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

**RODOCANACHI (Emmanuel)**, 8, avenue Hoche.

**ROGER (Albert)**, rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

**ROGER**, ancien Chef d'Institution, 161, rue Saint-Jacques.

**ROGNETTA (F.-B.)**, Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

**ROIG Y TORRES (Raphaël)**, Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

**ROISIN (Paul)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

**ROMILLY (de)**, 8, rue de Madrid.

**ROOSEVELT**, Ingénieur, au château de Bray, par Saint-Perret (Ardèche).

**ROSENSTIEHL**, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route de Saint-Leu, à Enghien.

**ROUBY (Emmanuel)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 6, rue Sainte-Beuve.

**ROUSSEAU**, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles.

MM.

**ROUSSEAU** (**Paul**), Fabricant de produits chimiques, 17, rue Soufflot.

**ROUSSELET**, Professeur au Lycée Charlemagne, 4, rue Guy-de-la-Brosse.

**ROUSSELET** (l'abbé), 74, rue de Vaugirard.

**ROUX** (**Gaston**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 51, rue de Dunkerque.

**SAINTE-CLAIRE DEVILLE** (**Henri**), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

**SAINTE-CLAIRE DEVILLE** (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

**SAINT-LOUP**, Doyen de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

**SALET**, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boulevard Saint-Germain.

**SAMBOURG** (**Ch.**), Inspecteur Ingénieur des Lignes télégraphiques, 6, rue de la Porte-Maillot.

**SANDOZ** (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 40, rue d'Ulm.

**SARCIA** (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 76, rue Rochechouart.

**SARRAU**, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 11, rue de l'Arsenal.

**SAUTTER** (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

**SAUVAGE** (**Henri**), Contrôleur du service technique des Télégraphes, à Évreux, rue de l'École Normale.

**SCHAEFFER**, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

**SCHNEIDER** (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 40, rue du Four.

**SCHWEDOFF**, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

**SCHODDUIJN** (l'abbé), Professeur de Sciences, à l'Institution Saint-Joseph, à Gravelines.

**SCIAMA**, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 10, rue Sainte-Anne.

**SEBERT**, Colonel d'Artillerie de Marine, Directeur du laboratoire central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

**SÉGUIN**, ancien Recteur, 36, rue de la Bruyère.

**SEIGNETTE** (**Adrien**), Licencié ès Sciences, 21, rue Tronchet.

**SELIGMANN-LUI**, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

**SERRÉ-GUINO**, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 36, rue Saint-Placide.

**SERRIN** (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

**SIMON**, Pharmacien, à la Ferté-Fresnel (Orne).

**SIMOUTRE** (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

**SIRE** (**G.**), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

**SIRVENT**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 106, rue de Rennes.

**SLOUGUINOFF**, Professeur de Physique au cabinet de Physique de l'Université impériale de Kasan (Russie).

**SOLIGNAC**, Ingénieur-Électricien, 247, rue Saint-Honoré.

**SOMZÉE**, Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

MM.

**STAPFER (Daniel)**, Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

**STREET (Charles)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 2, rue Lafitte.

**STEPANOFF**, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

**STOKES (G.-G.)**, Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge. — Lensfield Cottage, Cambridge.

**STOLETOW (Al.)**, Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

**STRAUSS**, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

**STRUMBO**, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

**TACCHINI**, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

**TEISSERENC DE BORT (Léon)**, Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

**TEISSIER**, Professeur au Lycée, 5, rue de Lille, à Nice.

**TEPLOFF**, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

**TERQUEM**, Membre correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

**THENARD (Arnould)**, 6, place Saint-Sulpice.

**THIERCELIN**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 43, rue Madame.

**THIESEN**, adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

**THOLLON**, à l'Observatoire de Nice (Alpes-Maritimes).

**THOMPSON (Silvanus-P.)**, Professeur à Finsbury Technical College. London street.

**THOMSON (Sir William)**, F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

**THOUVENOT (Clovis)**, Ingénieur-Électricien, 43, Limmocthstrasse, à Zurich.

**THYRION**, Professeur au Collège, 201, rue Saint-Merry, à Fontainebleau.

**TIMIRIAJEFF**, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

**TISSANDIER (Gaston)**, Directeur du Journal « *La Nature* », 19, avenue de l'Opéra.

**TOMMASI (Donato)**, Professeur de Chimie, 13, rue Daru.

**TOMMASI (Ferdinando)**, Ingénieur, 13, rue Daru.

**TONARELLI**, Censeur du Lycée de Périgueux.

**TOUANNE (de la)**, Ingénieur des télégraphes, 13, rue Soufflot.

**TRANNIN (Henri)**, Docteur ès Sciences, ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Arras.

**TRIPIER** (le Dr), 41, rue Cambon.

**TROTIN**, Ingénieur des télégraphes, 34, quai Henri IV.

**TROUVÉ (G.)**, Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

**TULEU**, Ingénieur, 17, rue Visconti.

MM.

**UCHARD** (**A.**), Capitaine d'artillerie, 4, rue Maurepas, à Versailles.

**VACHER** (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

**VAGNIEZ BENONI**, Négociant, 14, rue Lemerchier, à Amiens.

**VALBY**, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

**VALETTE**, Rédacteur au Journal « *Cosmos* », 8, rue François Ier.

**VAN AUBEL** (**Edmond**), Membre de la Société de Physique de Berlin, 107, rue de Louvrex, à Liège.

**VAN BIERVLIET** (**Albert**), 39, rue des Joyeuses-Entrées, à Louvain.

**VANDENBROUCQUE**, Professeur à l'Institution libre, à Marcq en Barœul (Nord).

**VAN DER MENSBRUGGHE** (**Gustave-Léonard**), Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).

**VAN DER VLIETH**, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

**VARACHE**, Professeur au Collège de Béziers.

**VARENNE** (**de**), Préparateur du Laboratoire de physiologie générale au Muséum, 7, rue de Médicis.

**VARIN**, Professeur au Collège, à Épinal.

**VASCHY**, Sous-Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

**VAUCHERET**, Colonel d'Artillerie, Directeur de la Section technique de l'Artillerie, 1, place Saint-Thomas d'Aquin.

**VAUTIER** (**Théodore**), Chargé des conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

**VERDIN**, Constructeur d'instruments pour la Physiologie et la Médecine, 6, rue Rollin.

**VIEILLE**, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 2, boulevard Henri IV.

**VILLARS**, Maître de conférences à la Faculté et Professeur au Lycée de Montpellier.

**VILLIERS** (**Antoine**), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

**VILLY**, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

**VIOLET** (**Léon**), sous-directeur des ateliers Carpentier, 20, rue Delambre.

**VIOLLE**, Maître de conférences à l'École normale, 89, boulevard Saint-Michel.

**VION**, Professeur à l'École primaire supérieure d'Amiens.

**VLASTO** (**Ernest**), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

**VOIGT**, Professeur au Lycée, 30, rue des Gloriettes, à Lyon.

**VOISENAT** (**Jules**), Sous-Ingénieur des télégraphes, à Besançon.

**WAHA** (**de**), Professeur de Physique à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

**WALLON** (**E.**), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 65, rue de Prony.

MM.

**WARREN DE LA RUE**, Correspondant de l'Institut, 73, Portland Place, Londres, W.

**WEISS**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 73, boulevard Saint-Michel.

**WENDT** (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

**WERLEIN**, Constructeur d'instruments d'Optique, 20, rue du Cardinal-Lemoine.

**WEST** (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue Bonaparte.

**WEYHER**, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

**WIEDEMANN** (**Eilhard**), Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

**WITZ** (**Aimé**), Ingénieur civil, 104, boulevard Vauban, à Lille.

**WOLF**, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

**WROBLEWSKI** (**Dr Sigismond de**), Professeur de Physique à l'Université de Cracovie (Autriche).

**WUNSCHENDORFF**, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 97, rue de Rennes.

**XAMBEU**, 41, Grande-Rue, à Saintes.

**YVON**, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

**ZAHM** (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

**ZEGERS** (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, Chacabuco, 57, à Santiago.

**ZILOFF**, Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

Avril 1887.

---

*Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.*

# TABLE DES MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

# DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1887.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,

13166 Quai des Augustins, 55.

# SÉANCES

DE LA

# SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

---

**ANNÉE 1887.**

---

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1887

# SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

## SÉANCE DU 7 JANVIER 1887.

PRÉSIDENCE DE M. LE COLONEL SEBERT ET DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 décembre 1886 est lu et adopté.

Sur la proposition du Conseil et en vertu de l'Article IV des Statuts,

M. Berthelot, Sénateur, Membre de l'Institut,

est nommé à l'unanimité membre honoraire de la Société.

M. le Président déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Secrétaire général, du Vice-Secrétaire, de l'Archiviste-Trésorier, de deux Membres pour la Commission du *Bulletin* et pour le renouvellement partiel du Conseil.

Sont élus :

*Vice-Président :* M. de Romilly,
*Secrétaire général :* M. Joubert,
*Vice-Secrétaire :* M. Rivière,
*Membres de la Commission du* Bulletin : MM. Bouty et Mascart.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

| *Membres résidants.* | *Membres non résidants.* |
|---|---|
| MM. Carpentier, | MM. Colnet d'Huart (Luxembourg), |
| Foussereau, | Hagenbach (Bâle), |
| Lemonnier, | Rayet (Bordeaux). |
| Ploix. | |

Sur la proposition du Conseil, la Société décide de nommer Membre non résidant M. Bienaymé, actuellement Membre résidant, qui vient d'être désigné au poste de Toulon. M. Girardet est élu pour le remplacer comme Membre résidant pendant les années 1887 et 1888.

M. le Président donne lecture de la lettre suivante qu'il a reçue de M. Guébhard, membre de la Société :

Paris, 29 décembre 1886.

Monsieur le Président,

Désireux de m'associer aux efforts constants que fait la Société française de Physique pour le développement de la science, et plus particulièrement dans le but de mettre sa très utile Bibliothèque circulante à même de répondre à toutes les exigences des travailleurs, je vous prie de vouloir bien faire accepter à la Société, à titre de don définitif, l'abandon que j'ai résolu de lui faire de mes appointements d'agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, à partir de janvier prochain jusqu'à la fin de ma période d'exercice, qui, commencée à la suite du concours de 1883, doit prendre fin en novembre 1892.

Tout à votre disposition pour les formalités qu'il pourrait y avoir à remplir, je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mes sentiments tout dévoués.

A. Guébhard.

M. le Président est chargé de transmettre à M. Guébhard les remerciements de la Société.

M. le Colonel Sebert, avant de quitter le fauteuil de la Présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler, puis cède la présidence à M. Wolf, président pour l'année 1887.

M. le Secrétaire général signale une Note de M. Henri Dufour, de Lausanne, sur l'action qu'exerce un champ magnétique intense sur un liquide en mouvement, lorsque ce liquide a une forte tension superficielle et en même temps est très diamagnétique. La tension superficielle dépendant de l'orientation des molécules et un champ magnétique modifiant cette orientation, il était à prévoir que la vitesse d'écoulement d'un liquide devait être modifiée lorsqu'il traverserait un champ magnétique. L'expérience a vérifié cette supposition; elle a été faite de la manière suivante : Du mercure s'écoule par un tube capillaire horizontal placé entre les pôles d'un grand électro-aimant, le liquide s'échappe en décrivant une parabole, la veine est continue jusqu'à une petite distance de l'orifice, puis devient discontinue. Lorsque l'électro-aimant agit, la parabole est plus tendue; en même temps la partie continue de la veine s'allonge. Ce fait indique donc un *accroissement de vitesse* du mercure produit par l'action du champ magnétique. Or, d'après la loi de Poiseuille, la vitesse d'écoulement d'un liquide par un tube capillaire est $V = K\frac{PD^4}{L}$; P = pression, D = diamètre, L = longueur et K est un coefficient particulier pour chaque liquide. M. Warburg a montré, entre autres, que, pour le mercure, la loi de Poiseuille est vraie; il résulte de l'expérience que nous venons de décrire que la valeur du *coefficient de frottement intérieur diminue* pour le mercure dans un champ magnétique.

M. Dufour se propose de *mesurer* la valeur de cette variation pour le

mercure et d'étendre ses recherches à d'autres liquides et aux gaz magnétiques et diamagnétiques.

L'expérience précédente peut en tout cas servir dans un Cours pour montrer à un nombreux auditoire les propriétés diamagnétiques du mercure.

Cette expérience vérifie aussi la loi formulée par Faraday, qu'un corps diamagnétique tend à se mouvoir suivant la ligne de plus grande pente dans un champ magnétique, en s'éloignant des points où ce champ magnétique est le plus intense.

M. Hugoniot signale plusieurs conséquences singulières et anomales auxquelles conduisent les formules théoriques relatives à l'écoulement des fluides élastiques. Les anomalies dont il s'agit sont relatives au calcul du *débit* d'un orifice, c'est-à-dire de la masse ou du poids du fluide qui, pendant l'unité de temps, traverse un orifice de section déterminée. On peut en donner plusieurs exemples :

1° Quand un gaz permanent s'écoule d'un réservoir où la pression est $p_0$ dans un milieu où la pression est $p_1$, le débit est une fonction de $p_1$ lorsque la pression d'amont $p_0$ reste la même. Or la pression d'aval $p_1$ diminuant de $p_0$ à zéro, il résulte des formules usuelles que le débit augmenterait d'abord, atteindrait un maximum pour une valeur de $p_1$ voisine de $\frac{1}{2}p_0$, puis qu'il décroîtrait ensuite indéfiniment, de sorte qu'il deviendrait nul en même temps que la pression d'aval.

2° M. Zeuner a calculé le poids de vapeur saturée et sèche qui, renfermée dans une chaudière à $14^{atm}$, s'écoulerait à l'air libre par un orifice de section égale à l'unité et il l'a trouvé égal à $666^{kg}$ par seconde. Or, en appliquant les formules mêmes de M. Zeuner, on trouve que, si la pression extérieure était de $8^{atm}$, le débit serait représenté par $2046^{kg}$, nombre triple du précédent.

3° Le même auteur a étudié l'écoulement de l'eau bouillante sous pression qui se comporte tout autrement que les liquides ordinaires, parce qu'une partie de l'eau bouillante se convertit en vapeur pendant la détente. La pression dans la chaudière étant de $14^{atm}$, le débit serait représenté par 1130 dans le cas de l'écoulement à l'air libre et par 8451 si la pression extérieure était de $12^{atm}$.

Laissant de côté le cas particulier des gaz permanents, qui a été traité en détail dans un Mémoire étendu ([1]), M. Hugoniot se propose de montrer comment la théorie de l'écoulement des vapeurs doit être modifiée.

Il expose d'abord sommairement la théorie générale de l'écoulement des fluides élastiques, en supposant qu'il existe pendant la détente une relation déterminée entre la pression et la densité du fluide. Cette relation n'est autre que celle qui correspond à la détente dite *adiabatique*. Pour les gaz permanents, elle se réduit à la loi de Laplace.

Le *régime permanent* étant supposé établi, la masse fluide est décom-

---

([1]) *Annales de Chimie et de Physique*, novembre 1886.



posable en filets, chacun de ces filets étant constitué par le faisceau des trajectoires des molécules qui traversent un élément de surface infiniment petit.

La section d'un même filet varie d'un point à l'autre; c'est une fonction de la pression et il en est de même de la vitesse du fluide, d'après le théorème de Bernoulli. La densité et la vitesse du fluide ainsi que la section des filets sont donc des fonctions déterminées de la pression.

Dans les circonstances ordinaires de l'écoulement, la pression diminue constamment le long du filet, depuis la valeur $p_0$ qui correspond au milieu d'amont jusqu'à la valeur $p_1$ correspondant au milieu d'aval. La densité varie dans le même sens. La vitesse, au contraire, nulle à l'origine, où la pression est $p_0$, croît constamment le long du filet; sa plus grande valeur correspond à la pression $p_1$.

Quant à la section des filets, il existe, pour chaque valeur de la pression d'amont $p_0$, une valeur $p'$ de la pression pour laquelle cette section devient minimum. Si la pression d'aval $p_1$ est supérieure à $p'$, la section du filet est constamment décroissante; de sorte que la plus petite section est la section finale correspondant à la pression $p_1$. Lorsque, au contraire, la pression d'aval est inférieure à $p'$, la section du filet est d'abord décroissante, puis croissante. Il existe ainsi un maximum de contraction sur chaque filet; et en ce point la pression est égale à $p'$.

On démontre qu'au point où se produit le maximum de contraction du filet, la vitesse du fluide est égale à la vitesse du son correspondant à la densité et à la pression en ce point.

M. Hugoniot assimile la veine fluide qui se produit dans l'écoulement à un filet unique dont les dimensions latérales, à la vérité, ne sont plus infiniment petites, et considère les résultats précédents comme lui étant très approximativement applicables.

Dès lors, deux cas sont à distinguer. Si la pression d'aval $p_1$ est plus grande que $p'$, la plus petite section de la veine (section contractée) est la section finale où la pression est $p_1$. Si, au contraire, la pression d'aval est inférieure à $p'$, la veine présente une contraction suivie d'une dilatation. Dans la section contractée la pression est égale à $p'$ et indépendante de $p_1$.

La cause des anomalies qui ont été signalées au début consiste en ce que l'on regardait la section finale de la veine comme étant toujours la plus petite, ainsi que cela a lieu pour les fluides incompressibles.

Pour le calcul du débit, il faut toujours considérer la section contractée. A la vérité, il faudrait connaître le rapport de cette section à celle de l'orifice, ou le *coefficient de contraction*. Ce coefficient dépend de la nature de l'orifice et ne peut guère être déterminé que par l'expérience. Toutefois, quand l'orifice est muni d'un ajutage conique convergent, la contraction de la veine doit s'effectuer presque en entier dans l'ajutage et le coefficient de contraction doit fort peu différer de l'unité.

Supposant connu le coefficient de contraction, il faut distinguer deux cas pour le calcul du débit :

1° Si la pression d'aval $p_1$ est supérieure à $p'$, le débit en poids est égal au produit de l'aire de la section contractée par la vitesse et le poids spécifique correspondant à la pression $p_1$.

2° Si la pression $p_1$ est inférieure à $p'$, il faut multiplier l'aire de la section contractée par la vitesse et le poids spécifique correspondant à la pression $p'$.

C'est ce dernier cas qui se présente presque toujours dans la pratique, quand il s'agit de l'écoulement des mélanges de liquide et de vapeur saturée; aussi les nombres donnés par M. Zeuner doivent-ils être l'objet d'importantes corrections qui font disparaître toutes les anomalies.

Lorsqu'il s'agit de vapeur saturée primitivement sèche, on trouve que le rapport $\frac{p'}{p_0}$ est sensiblement constant et égal à 0,575. Il en résulte que, dans l'écoulement à l'air libre, la pression dans la section contractée est supérieure à celle d'aval dès que la pression dans la chaudière atteint $2^{\text{atm}}$. Le rapport $\frac{p'}{p_0}$ augmente, du reste, en même temps que la proportion initiale de liquide et devient voisin de 0,85 pour le cas de l'écoulement de l'eau bouillante.

Les Tableaux suivants permettent d'apprécier l'importance des corrections qu'il faut faire subir aux nombres calculés par M. Zeuner:

*Vapeur saturée sèche.*

| | | Pression dans la chaudière. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $2^{\text{atm}}$. | $4^{\text{atm}}$. | $7^{\text{atm}}$. | $10^{\text{atm}}$. | $14^{\text{atm}}$. |
| Débit calculé | Zeuner................ | 304 | 448 | 549 | 610 | 666 |
| | Corrigé.............. | 305 | 607 | 1032 | 1472 | 2046 |

*Eau bouillante.*

| | | Pression dans la chaudière. | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $4^{\text{atm}}$. | $7^{\text{atm}}$. | $10^{\text{atm}}$. | $14^{\text{atm}}$. |
| Débit calculé | Zeuner........ | 1106 | 1116 | 1123 | 1130 |
| | Corrigé........ | 4230 | 6230 | 6850 | 8500 |

Les nombres renfermés dans ces Tableaux doivent être multipliés par la section de l'orifice exprimée en mètres carrés et par le coefficient de contraction pour obtenir en kilogrammes le poids du fluide qui s'écoule en une seconde.

Dans le cas de la vapeur saturée sèche, le débit G peut être représenté par la formule suivante

$$G = m\Omega(25,5 + 144,5n), \tag{1}$$

qui reproduit les résultats du calcul avec toute l'approximation désirable.

On a représenté par $n$ la pression dans la chaudière en atmosphères, par $\Omega$ l'aire de l'orifice et par $m$ le coefficient de contraction.

MM. Minary et Resal ont exécuté des expériences sur l'écoulement des vapeurs. Il était intéressant de comparer la formule (1) avec les résultats qu'ils ont obtenus. Un certain nombre de ces expériences ont été faites avec un ajutage conique et l'on a supposé que, dans ce cas, le coefficient de contraction $m$ était sensiblement égal à l'unité.

La comparaison a fourni les résultats suivants :

| | Pression dans la chaudière. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $1^{atm},95$. | $2^{atm},51$. | $3^{atm},04$. | $3^{atm},69$. | $4^{atm},20$. | $4^{atm},79$. | $5^{atm},37$. |
| Débit mesuré..... | 3,668 | 4,550 | 5,600 | 6,500 | 7,500 | 8,400 | 9,375 |
| Débit calculé par la formule(1). | 3,548 | 4,482 | 5,366 | 6,450 | 7,301 | 8,286 | 9,254 |

L'accord est très satisfaisant. Le débit observé est même légèrement supérieur à celui qui a été calculé, ce qui doit sans doute être attribué à ce que la vapeur qui s'écoulait n'était pas entièrement débarrassée de liquide.

---

# ALLOCUTION DE M. LE COLONEL SEBERT,

## PRÉSIDENT SORTANT.

---

MESSIEURS,

Le vote que vous venez d'émettre met fin à la mission que vous m'aviez confiée et, après l'éminent astronome que vous avez désigné déjà pour me remplacer, il appellera à vous présider, à son tour, un de nos confrères les plus dévoués.

Je suis heureux d'avoir à féliciter de ce choix M. Worms de Romilly, ce savant modeste qui a été un des précurseurs des électriciens dont les inventions se préparent à révolutionner l'industrie.

Avant d'inviter M. Wolf à me remplacer, je dois garder encore pendant quelques instants ce fauteuil pour passer avec vous la revue des évènements qui ont marqué, pour notre Société, l'année qui vient de s'écouler.

Cette année comptera parmi celles où nos pertes ont été les plus nombreuses, car quatorze de nos collègues nous ont été enlevés depuis moins d'un an.

Jamin, qui a succombé le premier, était un de nos fondateurs : il avait été l'un de nos premiers présidents et avait mérité le titre de membre honoraire que nos statuts réservent comme un hommage particulier aux physiciens éminents. Il a reçu de nous, à ses obsèques, les honneurs dus à sa haute situation.

Après lui, notre Société a perdu Lallemand, membre correspondant de l'Institut, doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers, qui s'est fait connaître par ses travaux sur l'Optique; Le Blanc, professeur à l'École Centrale, vérificateur du gaz de la Ville de Paris, qui, bien que s'étant surtout occupé des Sciences chimiques, jouissait d'une grande autorité dans les questions de photométrie; Melsens, son intime ami, comme lui élève reconnaissant de Dumas : membre des Académies des Sciences et de médecine de Belgique, examinateur à l'École militaire, Melsens était un grand ami de notre pays et il lui a laissé, même après sa mort, des marques de sa sympathie. Il a fait de nombreux travaux originaux qui, sortant des sentiers battus, ont soulevé souvent de vives polémiques. Son nom restera spécialement attaché à la question du mode de construction des paratonnerres qui jusqu'à ses derniers moments a été sa grande préoccupation.

Nous avons à signaler encore la mort de Sourdeval, ancien président de la Société d'électricité, qui s'est signalé par l'impulsion donnée, il y a dix ans, aux premières applications en grand de l'éclairage électrique; celle de Guerout, le secrétaire du journal *la Lumière électrique;* celle aussi de Jules Duboscq, qui nous a donné tant de preuves de son dévouement quand il s'agissait d'apporter à l'organisation de nos séances le concours de son expérience consommée.

Puis viennent Meurien, pharmacien; Aubry, principal du Collège de Bône; Joly, directeur Ingénieur des Télégraphes; Duchesne, préparateur au Collège de France, Virgile Hépitès major, professeur à l'École spéciale de l'artillerie et du génie à Bucharest, le Dr Rigaud, et enfin Jennesson, ancien principal, qui, retiré à Xivry-le-Franc, continuait à suivre assidûment nos travaux et a voulu reconnaître par un legs généreux les services que lui a

rendus notre bibliothèque circulante dont il était, avec quelques-uns de nos confrères, retirés dans le voisinage, un des lecteurs persévérants et réguliers.

Malgré ces pertes si sensibles, notre Société a continué sa marche ascendante et elle a recruté dans l'année 44 nouveaux adhérents.

Elle compte aujourd'hui 679 membres, dont 359 habitent Paris, 231 sont fixés en province et 89 résident à l'étranger; le nombre de ses membres à vie, qui se développe plus rapidement encore, en proportion, s'élève aujourd'hui à 103. Notre situation est donc prospère et le ralentissement que je vous avais signalé l'an dernier, dans la progression de notre développement, ne s'est pas accentué davantage.

Nos séances ont continué à réunir un grand nombre d'auditeurs et ont été marquées par des Communications qui ont rivalisé entre elles d'intérêt et d'importance.

Sur les sujets d'Optique, nous avons eu la Communication de M. Potier, sur ses recherches faites avec M. Cornu pour la vérification de la loi de Verdet sur la rotation des rayons lumineux dans un champ magnétique; la présentation par M. Dufet de son nouveau microscope polarisant à refractomètre; la Communication de M. Mascart sur l'usage d'un photomètre pratique pour la mesure de l'intensité relative de l'éclairage; celle de M. Bouty sur le saccharimètre à franges et à lumière blanche de MM. Th. et A. Duboscq; celle encore de M. Mergier sur un appareil pour la démonstration expérimentale du grossissement de la loupe.

M. Léon Laurent nous a exposé ses méthodes pratiques pour l'exécution des objectifs destinés aux instruments de précision et pour la construction des prismes de Nichol et de Foucault.

M. le Dr Boudet de Pâris nous a présenté ses épreuves photographiques obtenues par l'effluve électrique et M. Colson ses épreuves obtenues sans objectifs. M. Raphaël Dubois nous a communiqué ses remarques sur la lumière émise par les insectes lumineux du Brésil.

Les recherches d'Acoustique nous ont valu l'exposé de la

théorie de la gamme par M. Robin, celui des expériences de MM. Violle et Vautier sur la propagation du son dans les tuyaux cylindriques et la présentation de l'appareil ingénieux de M. Violle pour rendre visibles par projection les deux modes de réflexion d'un mouvement vibratoire; enfin M. Carpentier nous a fait voir l'illusion produite par son nouveau batteur de mesure à distance.

Dans un ordre d'idées différentes, nous avons entendu les intéressantes Communications que M. Schwedoff nous a apportées de si loin concernant la nature du mouvement cyclonique de l'atmosphère et sur un phénomène électromagnétique curieux.

M. Hugoniot a traité la question de la vitesse limite d'écoulement des gaz, qui a plus d'une fois divisé les physiciens et qui soulève encore en ce moment de vives controverses. Il doit compléter aujourd'hui même cette Communication par des considérations sur l'écoulement des fluides et spécialement des vapeurs saturées. M. Worms de Romilly nous a montré les nouveaux perfectionnements de sa machine rotative élévatoire basée sur l'utilisation des phénomènes d'écoulement des gaz qu'il a si bien observés.

M. Cailletet nous a exposé les observations qu'il a faites, de concert avec M. Mathias, sur la densité des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées.

D'autre part, M. Wolf nous a décrit les méthodes suivies dans la construction des étalons du système métrique et M. Guillaume nous a résumé ses études si complètes sur les thermomètres à mercure.

M. Le Châtelier a traité la question de la mesure des températures élevées par les couples thermo-électriques.

M. d'Arsonval nous a montré ses grands appareils et ses ingénieux dispositifs pour les expériences de calorimétrie sur les êtres vivants.

M. Nodon nous a montré un nouvel hygromètre et M. Hillairet nous a fait part du curieux phénomène d'Hydrodynamique qu'il a observé à bord du grand paquebot *la Champagne*.

Mais c'est, comme toujours, sur les questions d'électricité qu'ont eu lieu les Communications les plus nombreuses.

MM. Trouvé, Ducretet, Barbier, Reynier, Scola et Ruggieri

nous ont montré de nouveaux appareils ou de nouvelles applications d'appareils connus.

M. Lippmann nous a présenté son électromètre absolu, de disposition si ingénieuse, et M. Pellat son ampèremètre absolu si intéressant.

M. d'Arsonval nous a exposé les perfectionnements qu'il a apportés aux galvanomètres et aux procédés optiques employés pour la lecture de ces appareils. Il nous a indiqué aussi l'usage que l'on peut faire des accumulateurs pour remplacer la pile et créer une différence de potentiel constante dans la méthode de Poggendorff.

H. Hempel a répété devant nous les expériences de Lodge sur la condensation des vapeurs sous l'influence de l'électricité statique.

M. Leduc nous a exposé ses recherches sur la mesure de l'intensité magnétique et sur les variations du champ produit par un électro-aimant.

M. Ledeboer nous a entretenus de la détermination du coefficient de self-induction, M. Vaschy de la vitesse de l'électricité, M. Bouty de la conductibilité électrique des dissolutions salines, enfin M. Fontaine nous a décrit les expériences qu'il a exécutées pour le transport de la force au moyen de machines dynamo-électriques couplées en séries.

Le résumé de ces Communications dans les comptes rendus de nos séances maintiendra au moins à son niveau habituel l'intérêt de cette publication si appréciée et du *Journal de Physique* qui la complète.

Notre séance annuelle de Pâques a été particulièrement brillante. Les nouvelles salles de la Société d'Encouragement, mises, pour la première fois, à notre disposition, avaient permis de grouper, d'une façon plus avantageuse, les nombreux appareils exposés et de donner plus de développement aux installations d'éclairage électrique.

Il serait trop long de rappeler tous les intéressants instruments qui ont été offerts à l'examen de nos nombreux visiteurs; mais il ne m'est pas permis d'omettre de signaler parmi ces appareils ceux de M. Amagat pour la mesure de la compressibilité des gaz et ceux

de M. le commandant Renard se rapportant à l'aérostat de Meudon, sans compter ceux de MM. Janssen, Mercadier, Kœnig, Nodot, Neyreneuf et tant d'autres.

Je dois aussi signaler le concours précieux de MM. Weyher et Richemond qui, comme les années précédentes, ont mis gratuitement à la disposition de la Société la force motrice nécessaire pour l'éclairage électrique; ainsi que celui de M. Lodyguine qui nous a donné la primeur de ses lampes à incandescence, celui de ses associés MM. Cauderon et Bertin qui en ont dirigé les installations, ainsi que ceux de M. Chertemps et de la Société Edison qui nous ont prêté leurs machines dynamo-électriques.

L'affluence nombreuse des visiteurs qui se sont succédé aux deux séances du soir, l'empressement de nos confrères à profiter de la faculté qui leur a été laissée d'étudier à loisir les appareils pendant la journée qui a séparé ces deux séances, nous ont prouvé, une fois de plus, combien ces réunions ainsi organisées présentent de l'attrait pour tous ceux qui s'intéressent au progrès des Sciences physiques et surtout combien elles rendent de service aux savants et professeurs de province auxquels elles fournissent l'occasion d'examiner facilement des appareils qu'il leur faudrait chercher dans des Laboratoires ou des ateliers nombreux.

Il est malheureusement à craindre que le succès de nos séances futures du même genre ne soit compromis, s'il est donné suite au projet qui transférerait à une époque de l'année moins propice la réunion annuelle, à Paris, des membres des Sociétés savantes.

Mais nous pouvons espérer encore que l'avis motivé, que notre Société a été appelée à émettre sur cette question, aura quelque poids dans la balance et pourra éviter une mesure qui aurait certainement des conséquences fâcheuses pour les intérêts du plus grand nombre de nos confrères.

Pour éviter ce danger, nous pourrons compter, j'en suis sûr, sur l'appui de l'homme éminent qui vient d'être placé à la tête de l'Université et que notre Société est fière de compter parmi ses anciens présidents et ses plus dévoués fondateurs.

Le léger point noir que je vous laisse entrevoir ne peut nous inquiéter sur la prospérité de notre Société dont la vitalité va sans cesse en s'affirmant.

La publication, aujourd'hui très prochaine, des deux nouveaux

volumes de nos Mémoires que terminent MM. Joubert et Wolf sera pour nous un nouvel élément de succès.

Un don magnifique qui vient récemment de nous être annoncé pourra, si aucun obstacle n'en empêche la réalisation, nous permettre de donner une suite nouvelle à ces publications.

C'est donc sans inquiétude pour l'avenir que je remets à M. Wolf la présidence que m'avaient confiée vos trop bienveillants suffrages; mais, avant de l'inviter à prendre ma place, je tiens à vous remercier encore une fois d'avoir associé mon nom à ceux des savants éminents qui m'ont précédé dans ce fauteuil. C'est avec fierté et reconnaissance que je garderai le souvenir de l'honneur que vous m'avez fait.

---

## SÉANCE DU 21 JANVIER 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Lelorieux, professeur au Lycée Lakanal ;
Petroff, professeur à l'Institut technologique de Saint-Pétersbourg ;

Une Commission composée de MM. Cael, Dufet et Violle est nommée pour vérifier les comptes de l'année 1886.

M. Berthelot, nommé Membre honoraire; M. de Romilly, élu Vice-Président; MM. Girardet, Foussereau, Lemonnier, Colnet d'Huart, Hagenbach, Rayet, nommés Membres du Conseil, adressent leurs remerciements à la Société.

M. le Président fait part à la Société de la perte qu'elle vient de faire dans la personne de M. Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École de Télégraphie :

« La Société de Physique a éprouvé, depuis notre dernière séance, une perte très douloureuse : un de nos collègues les plus sympathiques, un de nos anciens Présidents, M. Blavier, a succombé samedi dernier aux suites d'une opération chirurgicale peut-être trop tardive. Ses obsèques ont eu lieu lundi, et au moment de la dernière séparation, à la gare de l'Est, plusieurs discours ont été prononcés devant son cercueil. M. Boussac, au

nom de l'Administration des Télégraphes, a rappelé la carrière si bien remplie de l'éminent Inspecteur général; M. Mascart a retracé l'ensemble de ses travaux scientifiques, et j'ai eu le douloureux honneur d'adresser, en quelques mots, votre dernier adieu à notre regretté Président.

» M. Blavier faisait partie de notre Société depuis sa fondation; et il était parmi nous le chef respecté de cette nombreuse pléiade d'Ingénieurs qui ont nourri nos séances de la lecture de leurs travaux et qui se consacrent avec un zèle soutenu à la prospérité de notre Association. Les grandes qualités d'homme et de savant que M. Blavier cachait sous une réserve trop modeste lui ont valu, dès le premier jour, toutes nos sympathies et vous l'avez appelé en 1878 à la Présidence de la Société. Je ne vous rappellerai pas tous ses travaux, la liste en est longue; mais il en est trois en particulier que je dois vous signaler et qui suffiraient à eux seuls à justifier la grande autorité dont M. Blavier jouissait parmi les savants. C'est d'abord son *Traité de Télégraphie*, dont la deuxième édition a paru en 1867 : la méthode et la clarté sont les qualités distinctives de cet Ouvrage, qui est et restera l'introduction la plus complète à la pratique de la Télégraphie. C'est ensuite son *Traité des grandeurs électriques*, exposé magistral des principes dont l'introduction dans l'Électricité a révolutionné cette Science en lui donnant la précision de la Mécanique. Enfin ce sont ses recherches récentes et si originales sur les courants telluriques, si fécondes en même temps par les vues nouvelles qu'elles nous ouvrent sur le mode de production de l'électricité du sol. Vous voudrez, je pense, que la liste complète des travaux de M. Blavier soit insérée dans les *Comptes rendus* de nos séances; ce sera pour nous la meilleure manière d'honorer et de conserver sa mémoire. »

M. le Secrétaire général annonce l'envoi d'une Note de M. Delaurier *Sur l'éclairage électrique des bords des fleuves et des rivières.*

M. Trouvé s'occupe activement, depuis plusieurs années, de l'application de l'électricité à la propulsion des petites embarcations de plaisance. Le générateur employé et présenté à la Société se compose de piles à grande surface, alimentées avec du bichromate de potasse. La dissolution contient $125^{gr}$ par litre et est acidulée au quart.

Au moment de l'immersion, la force électromotrice atteint $2^{volts},1$; en service, elle ne descend guère au-dessous de $1^{volt},9$; la résistance intérieure est réduite à $0^{\omega},001$ au début et atteint ensuite $0^{\omega},07$ à $0^{\omega},08$ seulement. En court circuit, l'intensité peut dépasser une centaine d'ampères; mais, en service courant, on ne dépasse pas une vingtaine d'ampères, et le fonctionnement est très satisfaisant.

M. Trouvé installe le moteur et le propulseur sur le gouvernail. Le moteur est composé essentiellement d'une bobine de Gramme ou de Siemens, tournant à l'intérieur d'un inducteur en forme d'anneau. Deux secteurs symétriques, embrassant la moitié de la circonférence, sont occupés par les pôles magnétiques; les deux autres, par les bobines.

Ce petit moteur, qui ne s'échauffe nullement lorsqu'il fonctionne à l'air libre, ne pèse que 15$^{kg}$ par cheval. M. Trouvé pense que cet appareil est destiné à rendre de grands services dans les laboratoires et cabinets de Physique : il jouit de la propriété de s'amorcer sur une seule lampe à incandescence, résultat qui n'a pas encore été obtenu avec les autres machines du même genre.

Cette petite machine est susceptible de faire rougir un fil de platine, comme le prouve l'expérience réalisée devant la Société, et donne, au moment de la rupture du circuit, de vives étincelles dont la production correspond, d'après les évaluations de M. Trouvé, à 7$^{kgm}$.

Le propulseur hélicoïdal est doué d'une très grande vitesse qui varie entre 1500 et 2400 révolutions par minute. Le pas n'est que de 0$^{m}$,10 et, dans ces conditions, le remous est insensible. Le rendement de ce propulseur est très élevé.

La construction de ces petites hélices est réalisée à l'aide de dispositifs originaux et entièrement nouveaux.

M. Trouvé, partant du principe même de la génération de la surface hélicoïdale, construit tout d'abord un noyau cylindrique sur lequel il pratique, à l'aide d'un tour à diviser, une gorge ou fraisure hélicoïdale.

Il introduit ensuite, normalement à l'axe, de petites tiges de laiton dans les cavités ainsi ménagées et réalise matériellement une série de génératrices de la surface gauche. Les extrémités sont ensuite soudées et les vides comblés par un métal facilement fusible. Il ne reste plus qu'à régulariser la surface à la lime.

Le commutateur a la forme d'un levier à manette dont le maniement rappelle celui du levier de mise en train des machines à vapeur. M. Gaulard emploie avec succès, dans son usine électrique de Tours, ce modèle de commutateur qui jouit de la faculté précieuse de produire une grande vitesse relative au moment de la rupture du circuit. Les étincelles d'extra-courant sont alors très affaiblies.

Il ne reste plus, pour compléter l'installation du petit navire de plaisance, qu'à créer un signal électrique jouant le rôle de sifflet à vapeur. Aux petites vitesses, la voix des canotiers et le bruit des rames suffisent pour prévenir les rencontres; mais, aux grandes vitesses, il devient dangereux de se passer d'un signal puissant.

Le système imaginé par M. Trouvé se compose d'un porte-voix, d'une petite sirène et d'un petit moteur électrique faisant en même temps l'office de ventilateur.

Le système du moteur est identique à celui des jouets électriques et adopté depuis longtemps par M. Trouvé.

Les résultats obtenus par M. Trouvé permettent de prévoir, dans un avenir prochain, l'adoption sur une grande échelle de la navigation électrique pour les navires de toutes dimensions. M. Trouvé donne à ce sujet des chiffres concluants : en effet, tout le monde sait que la vapeur ne

permet pas de parcourir une distance franchissable de plus de $5000^{km}$ ; l'électricité conduit facilement à une distance double.

Le moteur et la pile ne pèsent pas plus de $200^{kg}$ par cheval, et la consommation de zinc et de liquide ne dépasse pas $2^{kg}$ par heure et par cheval. D'autre part, il résulte des expériences de M. Trouvé que le navire mû par l'électricité ne fait plus que glisser sur l'eau : la résistance qu'il éprouve à se déplacer est minime.

M. D'ARSONVAL, à propos de la description de l'anneau de fer de la bobine induite du moteur de M. Trouvé, dit qu'il résulte de ses propres expériences que le fil de fer employé par M. Gramme vaut mieux que les disques de ce métal, au moins pour les machines de dimensions notables.

M. TROUVÉ pense que dans les petites dimensions il doit y avoir équivalence, les disques employés n'ayant plus qu'une épaisseur de $0^{mm},1$.

M. le PRÉSIDENT prie M. Trouvé de donner de plus amples détails sur l'installation de l'hélice à l'intérieur du gouvernail.

M. TROUVÉ indique les avantages de cette disposition, qui permet d'accroître le pouvoir giratoire du gouvernail ; il fait en outre fonctionner l'appareil ; la rotation de l'hélice, dans les deux sens, est obtenue avec une égale facilité.

M. D'ARSONVAL décrit un appareil destiné à inscrire la quantité d'oxygène absorbé par un être vivant.

Cet appareil très simple se compose de trois parties :

1° Une trompe à eau ordinaire aspirante et foulante ;
2° Une cloche sous laquelle se trouve emprisonné l'animal ;
3° Un gazomètre à cloche contenant de l'oxygène pur.

La trompe à eau ne diffère pas du modèle ordinaire et peut être faite avec un tube et un flacon en verre de $10^{lit}$ de capacité environ. Cette trompe présente, comme d'habitude, un premier ajutage d'aspiration et un second de refoulement. La partie supérieure de la cloche est reliée à la tubulure aspirante de la trompe, sa partie inférieure à la tubulure de refoulement, par des tuyaux en caoutchouc. On a soin de bien luter l'appareil pour l'isoler de l'air extérieur.

Si l'on vient à faire fonctionner la trompe en ouvrant le robinet d'eau, il est aisé de comprendre que l'air de la cloche est aussitôt aspiré par le jet d'eau ; cet air se mélange intimement à l'eau et s'en sépare dans le réservoir de la trompe.

L'eau seule est éliminée, et l'air refoulé, après avoir été lavé par le courant d'eau, se rend de nouveau dans la cloche. Il s'établit donc un courant d'air continu entre la trompe et la cloche. Le volume de l'air reste

invariable s'il n'y a pas d'animal dans la cloche, ainsi que me l'ont prouvé plusieurs expériences faites à blanc.

Ce résultat est facile à comprendre ; car l'eau d'alimentation, étant saturée d'air atmosphérique avant son entrée dans la trompe, ne peut ni en dégager ni en dissoudre.

La cloche est reliée au gazomètre par un petit tube en verre horizontal présentant une légère courbure dont la concavité est tournée vers le haut. Une simple goutte d'eau introduite dans cette courbure isole l'air de la cloche de l'oxygène contenu dans le gazomètre.

Si, par la présence d'un animal, l'air de la cloche vient à être souillé d'acide carbonique, ce gaz se dissout dans le courant d'eau de la trompe d'une façon complète, grâce au barbotage énergique qui a lieu dans cet appareil. L'acide carbonique dissous dans l'eau est entraîné seul au dehors. Par suite de sa disparition, le volume du gaz contenu dans la cloche diminue, mais il est aussitôt remplacé par un volume égal d'oxygène venant du gazomètre, oxygène qui pénètre grâce à la légère diminution de pression qui se produit dans la cloche.

Le gazomètre porte une plume Richard qui se meut le long d'un cylindre enregistreur. L'absorption d'oxygène s'inscrit donc d'une manière continue sur le cylindre enregistreur.

La trompe a l'avantage : 1° d'absorber rapidement et complètement l'acide carbonique ; 2° de refroidir les gaz toujours à la même température ; 3° de dissoudre complètement les gaz odorants provenant de la respiration ; 4° enfin d'entretenir un courant d'air régulier et continu autour de l'animal sans nécessiter aucun appareil mécanique, comme cela a lieu dans l'appareil classique de Regnault et Reiset ou dans les similaires.

Ce dispositif, imaginé par M. d'Arsonval pour les leçons qu'il fait actuellement au Collège de France sur la respiration, donne d'excellents résultats qu'il fera connaître très prochainement.

---

## *Liste des Ouvrages et Mémoires publiés par M. Blavier.*

1865. *Propagation de l'électricité. Note sur la réponse de M. Guillemin aux observations de M. Gounelle.* Nancy, V^ve Raybris.

1867. *Nouveau Traité de Télégraphie électrique. Cours théorique et pratique de Télégraphie électrique ;* 2e édition. Paris, Eug. Lacroix.

1881. *Des grandeurs électriques et de leur mesure en unités absolues.* (Extrait des *Annales télégraphiques.*) Dunod.

1881. *L'Électricité et ses applications.* (En collaboration avec MM. Armengaud, Becquerel, etc.)

1882. *Capacité électrostatique et résistance de l'espace compris entre deux cylindres parallèles à bases circulaires.* (Extrait des *Annales.*) Dunod.

1884. *Étude des courants telluriques.* Gauthier-Villars.

### ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES.

Deuxième Série.

M. Blavier et M. Gounelle ont créé, en 1858, la deuxième Série des *Annales télégraphiques* dont la première Série, instituée en 1885, n'avait eu qu'une durée de quelques mois.

M. Blavier a publié dans cette deuxième Série les articles suivants :

1858. *Dérivations des courants le long des lignes télégraphiques.*
1859. *Sur la propagation de l'électricité.*
1859. *Des aurores boréales.*
1860. *Théorie de la propagation de l'électricité.*
1860. *Sur la boussole des tangentes de Gaugain.*
1861. *Notice sur les appareils télégraphiques imprimeurs.*
1861. *Transmission de plusieurs dépêches par un même fil.*
1862. *Des courants terrestres.*
1864. *Application de la théorie générale de la propagation de l'électricité à l'étude des conducteurs télégraphiques.*

Cette deuxième Série des *Annales* a été interrompue en 1865.

Troisième Série.

En 1874, M. Blavier s'est de nouveau occupé de reconstituer les *Annales télégraphiques* et a été nommé Président du Comité de rédaction. Il a publié dans cette troisième Série :

De 1874 à 1881. *Des grandeurs électriques et de leur mesure en unités absolues.*
1882. *Capacité électrostatique et résistance de l'espace compris entre deux cylindres parallèles à bases circulaires.*
1884. *Essai périodique des lignes télégraphiques.*
1885. *Influence des orages sur les lignes souterraines.*

M. Blavier a publié, en outre, dans les *Annales,* un grand nombre de Notices nécrologiques et d'articles bibliographiques.

---

*Moteur électrique puissant et léger. Nouveau mode de construction de l'hélice. Nouveau commutateur à changement de marche et signal employé dans les embarcations électriques;* par M. Trouvé.

Je m'occupe activement de la navigation électrique depuis mes premières expériences sur la Seine, qui remontent déjà à l'année 1881. Rien de sérieux n'avait été tenté dans cette voie depuis l'expérience mémorable de Jacobi sur la Neva.

Tout était alors à créer : depuis le générateur jusqu'au signal d'alarme. Le moteur et le propulseur devaient eux-mêmes être modifiés.

Après avoir essayé comparativement les générateurs primaires et secondaires, j'ai donné la préférence aux premiers. Ces générateurs sont en effet plus légers que les accumulateurs, toutes choses égales d'ailleurs; ils permettent en outre d'accomplir des trajets de plus longue durée, en emportant avec soi des sels nécessaires à les alimenter, l'eau ne pouvant faire défaut puisqu'il s'agit de navigation fluviale. Les accumulateurs, au contraire, ne permettent pas actuellement de s'éloigner longtemps de leur point de ravitaillement, et le temps est peut-être encore éloigné où l'on trouvera facilement, sur les bords des rivières ou dans les ports du littoral, des établissements outillés pour fournir l'approvisionnement nécessaire aux accumulateurs.

Le générateur dont je me sers est celui qui a été présenté à la Société le 20 avril 1883 : c'est une série de batteries à treuil et à grand débit; le nombre de ces batteries est plus ou moins grand suivant la force que l'on veut développer. Chacune de ces batteries se compose d'une auge en bois de chêne, munie de cuves en ébonite et surmontée d'un treuil avec rochet et encliquetage, de 6 éléments zincs et charbons réunis en tension au moyen de contacts mobiles, et du liquide excitateur, acide sulfurique et bichromate de potasse, dans des proportions déterminées.

La force électromotrice de chacun de ces éléments est de 2 volts en moyenne (le liquide n'ayant pas encore servi); l'intensité, au moment de l'immersion est, pour la batterie de 6 éléments, de 118 ampères en court circuit.

Les constantes sont $E = 1^{\text{volt}},9$, $r = 0^{\text{ohm}},07$, à $0^{\text{ohm}},08$.

Le moteur constitue une modification spéciale et longuement étudiée de la machine Gramme; il possède un champ magnétique d'une grande puissance relative, sous un très petit volume et un très faible poids. L'induit du moteur, ou bobine centrale, est formé par un noyau de fer doux, composé d'un ruban très mince en tôle de fer de $\frac{2}{10}$ de millimètre d'épaisseur, dont les spires sont séparées par du papier. Les deux électro-aimants, constituant les inducteurs, entourent concentriquement l'induit.

Afin de donner au champ magnétique son maximum d'intensité, j'ai réduit à la limite extrême l'espace compris entre l'inducteur et l'induit. Dans ces conditions, la puissance développée est vraiment remarquable, car le $\frac{1}{2}$ cheval est donné par un moteur de $8^{\text{kg}}$, et le cheval-vapeur par un moteur de $15^{\text{kg}}$; cette proportion s'accroît encore avec l'augmentation de puissance du moteur : c'est ainsi qu'un moteur de 10 chevaux ne pèse que $100^{\text{kg}}$.

D'après une série d'expériences entreprises par M. le D[r] d'Arsonval avec des moteurs de $\frac{1}{2}$ cheval, pesant $8^{\text{kg}}$, et de 1 cheval, pesant $18^{\text{kg}}$, le rendement obtenu a été de 50 à 65 pour 100, pour un nombre d'éléments variant de 24 à 48 et à une vitesse moyenne de 2400 tours par minute, ainsi qu'il résulte de l'examen du Tableau ci-dessous :

| NUMÉRO des expériences. | MOTEUR essayé. | NOMBRE des éléments | DÉVELOPPEMENT du levier au frein. | POIDS NET équilibrant l'entraînement. | NOMBRE de tours en une minute. | NOMBRE de kilogrammètres en une seconde. | NOMBRE d'ampères. | NOMBRE de volts ou différence du potentiel aux bornes du moteur. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ch | | m | kg | | | | |
| 1......... | $\frac{1}{2}$ | 24 | 2 | 0,200 | 2900 | 19,33 | 14 | 35 |
| » | » | 30 | 2 | 0,300 | 2400 | 25,00 | 18 | 34 |
| » | » | 36 | 2 | 0,300 | 2700 | 27,00 | 19 | 43 |
| 2......... | » | 24 | 2 | 0,200 | 2800 | 18,70 | 17 | 32 |
| 3......... | » | 24 | 2 | 0,200 | 2760 | 18,40 | 11 | 38 |
| » | » | 36 | 2 | 0,400 | 2300 | 30,70 | 16 | 46 |
| » | » | 40 | 2 | 0,500 | 2400 | 38,80 | 17 | 50 |
| 4......... | 1 | 36 | 2 | 0,700 | 2100 | 49,00 | 14 | 55 |
| » | » | 42 | 2 | 0,809 | 2440 | 65,00 | 17 | 60 |
| » | » | 48 | 2 | 0,900 | 2320 | 77,80 | 19 | 66 |

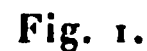
On se trouve dans des conditions très différentes de celles que présentent les moteurs à vapeur, lesquels ne peuvent dépasser pratiquement une vitesse assez faible.

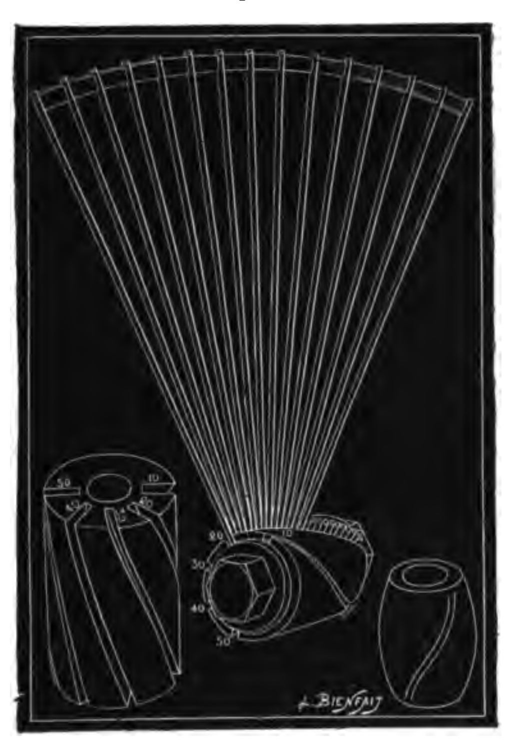
Cependant, au lieu de réduire par le mode de transmission la vitesse du moteur, il est plus avantageux de conserver à l'hélice une très grande vitesse de rotation. On sait, en effet, avec quelle rapidité augmente la résistance de l'eau à mesure que s'accroît la vitesse du corps qui s'y meut; on doit donc chercher à se rapprocher des conditions qu'offre une vis prenant son point d'appui sur un écrou solide, obtenir une diminution du recul de l'hélice et réduire la perte de force vive résultant du tourbillonnement de la masse d'eau mise en mouvement.

Cette grande vitesse oblige à réduire considérablement le pas de l'hélice, condition également favorable, car la résultante des forces dues à l'inertie de l'eau agissant sur chaque élément de la surface des ailes se rapproche de la direction de l'axe, direction dans laquelle doit s'exercer l'effet utile. Il en résulte aussi pour l'eau une moindre tendance à prendre un mouvement de rotation qui fait naître un effort centrifuge, la forçant à s'échapper par le pourtour de l'hélice, ce qui, comme on le sait, est une cause de trépidations et de perte de force vive.

Les expériences qui ont confirmé cette manière de voir ayant nécessité l'essai d'un très grand nombre d'hélices de forme et de pas variables, j'ai été conduit à imaginer un mode de construction beaucoup plus simple que ceux qui sont en usage et qui n'exige pas, comme ceux-ci, des connaissances géométriques assez étendues et une très grande habileté de main. Ce nouveau mode, au contraire, permet à tout ouvrier de confectionner un modèle d'hélice. Dans un cylindre d'un diamètre égal au moyeu de l'hélice (*fig.* 1), je pratique une rainure hélicoïdale, opération que le tour à engrenages réalise mécaniquement avec une régularité parfaite. Je prends ensuite une série de tiges métalliques d'un diamètre égal à la largeur de la rainure, et j'implante l'extrémité de ces tiges dans la rainure, perpendiculairement à l'axe du cylindre, en les pressant fortement l'une contre l'autre, de façon à assurer le contact. On réalise ainsi matériellement, avec la plus grande facilité, la formation d'un hélicoïde de pas déterminé. Il ne reste plus qu'à réunir les extrémités des tiges au moyen d'une feuille de métal mince, à laquelle on les soude pour fixer leur position, à souder

également entre elles les extrémités encastrées, puis à remplir l'intervalle des tiges au moyen d'un métal facilement fusible. J'obtiens ainsi deux surfaces auxquelles viennent affleurer les tiges, surfaces qui se confondent sensiblement avec l'hélicoïde géométrique ayant rigoureusement le pas qu'on s'est donné.


Fig. 1.




Je puis, du reste, réaliser parfaitement la surface hélicoïdale géométrique en faisant coïncider l'un des angles de l'outil avec la trace de cette surface sur le cylindre.

On découpe à volonté, si on le désire, des ailes courbes sur la surface ainsi formée, et l'on renforce la face qui n'est pas destinée à agir au moyen d'une matière plastique. On obtient ainsi sans difficulté et à peu de frais un moule au moyen duquel on peut fondre des hélices parfaitement régulières et de pas bien déterminé.

Comme ce moule est en matière indéformable, dépourvu de son noyau, il restera comme étalon pour vérifier soit les produits de la fonte, soit les hélices qui, ayant déjà travaillé, auraient été faussées.

L'hélice à pas variable, si compliquée et si difficile à réaliser, s'exécute avec la même facilité.

C'est à l'aide de ces trois organes essentiels que l'on obtient des vitesses dépassant $15^{km}$ à l'heure, avec des embarcations de plaisance.

Pour commander ce système de propulsion, j'ai construit tout spécialement un commutateur très simple qui assure la mise en marche, l'arrêt ou le renversement de marche du bateau, avec la plus grande promptitude.

Ce commutateur est composé de six équerres métalliques, disposées deux à deux sur un socle de matière isolante; les deux du milieu supportent le levier de manœuvre, les quatre autres sont reliées aux bornes du moteur et au générateur.

Il suffit d'abaisser le levier entre les équerres pour déterminer la marche en avant, comme de le placer au contact des équerres postérieures pour obtenir la marche en arrière. Le maniement de la manette rappelle celui du levier de mise en train des machines à vapeur. Ce commutateur est employé avec succès dans l'usine centrale d'électricité de Tours, pour les courants de hauts potentiels.

Pour les rivières peu profondes et encombrées d'herbes pendant une bonne partie de la belle saison, j'ai adapté à mes bateaux, concurremment avec l'hélice, un nouveau propulseur à augets coniques de M. Dupassieux, sur lequel il fonde beaucoup d'espérances et dont il s'est fait le propagateur.

Enfin, il était nécessaire de compléter cet ensemble par un signal avertisseur du passage des embarcations électriques, afin d'obvier à des accidents toujours trop fréquents. C'est dans ce but que j'ai imaginé une sirène électrique analogue à l'appareil en usage dans les cabinets de Physique. Elle se compose essentiellement d'un électromoteur de ventilation à quatre ailes perpendiculaires, entraînant, dans son mouvement de rotation, un disque mobile percé de trous suivant une inclinaison de 20° à 30° et monté sur le même axe que lui; le disque fixe, dont les ouver-

tures sont pratiquées en sens opposé, est placé vers le fond du pavillon de la sirène, à laquelle le courant est amené par deux conducteurs souples. L'appareil est monté sur un pied à coulisse articulé et peut prendre toutes les orientations. Le son produit par la sirène électrique débute par une vibration rauque et qui, passant rapidement par toutes les notes de la gamme, atteint et se maintient à une note aiguë, stridente et très forte, qu'il est impossible de confondre avec aucun des signaux en usage.

Les résultats que j'ai obtenus me permettent de prévoir, dans un avenir prochain, l'adoption sur une grande échelle de la navigation électrique pour les navires de toutes dimensions. Le moteur et la pile ne pèsent pas plus de $200^{kg}$ par cheval, et la consommation de zinc et du liquide ne dépasse pas $2^{kg}$ par heure et par cheval.

Je ne me suis pas contenté de faire servir l'électricité à la propulsion des bateaux, mais encore à les éclairer dans leurs promenades nocturnes. A l'avant de l'embarcation se trouve disposé un réflecteur puissant et mobile alimenté directement par les batteries qui servent à la propulsion des bateaux électriques, ou bien j'emploie, pour les embarcations ordinaires, une petite batterie automatique indépendante qui, sous un très petit volume, donne la durée de l'éclairage que l'on désire : trois, quatre ou six heures de lumière, à volonté.

---

## SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Bresson (Léon), ancien Officier de marine, à Paris.
Cavé, au château de Notz-Marafin, par Mézières-en-Brenne (Indre).
de Colnet d'Huart (François), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Athénée de Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
Leroy, Professeur de Physique au lycée de Vanves.
Madamet, Directeur de l'École d'application du Génie maritime, à Paris.
Pavlidès (Démosthènes), Étudiant en Médecine, à Paris.

M. Henri Dufet, Rapporteur, donne lecture du Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice de 1886.

Les conclusions du Rapport sont mises aux voix et adoptées.

M. le Secrétaire général signale le don que M. Broch vient de faire à la Bibliothèque de la Société d'une collection complète des tirages à part des Mémoires publiés, tant par lui-même que par ses collaborateurs, dans la *Collection des Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures*.

A cette occasion, M. le Secrétaire général annonce que, la Société d'Encouragement ayant bien voulu mettre à la disposition de la Société de Physique, pour sa Bibliothèque, les armoires qui entourent la salle des séances, on va pouvoir donner à la Bibliothèque un développement que le défaut d'espace ne lui avait pas permis de prendre jusqu'ici. La Bibliothèque de la Société rend surtout des services aux Membres de province, en mettant à leur disposition tous les ouvrages qu'elle possède et qui leur sont envoyés par la poste sur leur demande. On s'occupe en ce moment d'en dresser le Catalogue, qui sera imprimé et envoyé à tous les Membres. Le Bureau fait appel à tous les Membres de la Société pour contribuer à l'accroissement de la Bibliothèque par l'envoi des Mémoires ou tirages à part dont ils peuvent disposer.

M. le Secrétaire général annonce également que le troisième volume de la Collection des Mémoires (2e partie de l'*Électrodynamique*) est terminé et pourra être distribué dès la prochaine séance. Il ajoute que l'impression du volume suivant est commencée. Ce volume, qui est publié par M. Wolf, sera consacré aux principaux Mémoires relatifs au pendule (Borda, Kater, Bessel, etc.).

M. Henri Becquerel expose quelques-uns des principaux résultats auxquels l'ont conduit les recherches qu'il poursuit sur l'absorption de la lumière dans les cristaux :

1° Le spectre d'absorption observé au travers d'un cristal varie avec la direction de la vibration lumineuse rectiligne qui se propage dans ce cristal.

2° Les bandes ou raies observées au travers d'un même cristal ont des positions fixes; leur intensité seule varie.

3° Pour une bande ou raie déterminée, il y a dans le cristal trois directions rectangulaires de symétrie (*directions principales d'absorption*), suivant l'une desquelles la bande en question disparaît généralement.

4° Dans les cristaux *orthorhombiques*, les directions principales d'absorption de toutes les bandes coïncident avec les trois axes de symétrie. On observe alors trois *spectres principaux d'absorption*. Dans les cristaux *uniaxes* le nombre des spectres d'absorption se réduit à deux.

5° Dans les cristaux *clinorhombiques*, l'une des directions principales d'absorption de chacune des bandes coïncide avec l'axe unique de symétrie. Les deux autres directions principales rectangulaires peuvent être diversement orientées dans le plan de symétrie. Le plus généralement, ces directions principales d'absorption sont très voisines des directions principales d'élasticité optique correspondantes; cependant, dans quelques cristaux, les directions principales d'absorption de certaines bandes sont très différentes des directions d'élasticité optique du cristal.

6° Dans divers cristaux, les caractères des phénomènes d'absorption diffèrent notablement de ceux qu'on s'attendrait à rencontrer d'après l'examen des courbes isochromatiques du cristal.

En recherchant les causes des anomalies signalées dans les deux derniers paragraphes, l'auteur a été conduit à admettre qu'elles étaient dues au mélange de matières différentes, isomorphes, mais n'ayant pas les mêmes directions principales d'absorption par rapport aux directions géométriques de cristallisation; chacune de ces matières se comporterait comme si elle était seule dans le cristal.

L'observation des directions principales d'absorption de diverses bandes permet de reconnaître si ces bandes appartiennent à une même substance ou à deux substances différentes, et constitue une méthode nouvelle d'analyse spectrale, au moyen de laquelle on peut reconnaître la présence de substances différentes, que les méthodes chimiques ne peuvent encore séparer.

Appliquée aux cristaux des composés du didyme, cette méthode a conduit à regarder le didyme comme un mélange d'un grand nombre de substances différentes, au moins six, parmi lesquelles on retrouve les trois groupes qui ont été séparés par l'analyse chimique.

L'auteur répète devant la Société de Physique diverses expériences et montre en particulier les spectres d'absorption de la scheelite, du xénotime, et les directions anomales de disparition de certaines bandes des spectres du sulfate de didyme.

Les cristaux employés dans ces expériences, et dont la taille était parfois très difficile, ont été taillés par M. Werlein. M. Becquerel termine en remerciant M. Pellin du concours qu'il a bien voulu lui prêter pour mettre sous les yeux de la Société les principaux phénomènes qu'il vient de décrire.

M. Vaschy rappelle que, suivant les idées de Faraday, les actions des corps électrisés se transmettent de proche en proche par l'intermédiaire du milieu interposé. Il en résulte des actions qui s'exercent en chaque point du milieu et qui sont, comme l'a montré Maxwell, des tensions suivant les lignes de force et des pressions latérales, dont la valeur commune est $p = \frac{\mu f^2}{8\pi}$, $f$ désignant la force électrique, $\mu$ le pouvoir inducteur spécifique.

Le milieu sur lequel s'exercent ces actions doit être composé de l'éther et de la matière pondérable; car l'éther à lui seul, c'est-à-dire le vide, est susceptible de transmettre les actions électriques, et, d'autre part, la matière pondérable subit des déformations dans un champ électrique. On est conduit à supposer que l'éther subit une fraction $\frac{f^2}{8\pi} = \frac{p}{\mu}$ de ces actions, la matière pondérable subissant la fraction complémentaire

$$\frac{\mu - 1}{8\pi} f^2 = \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) p = \alpha p.$$

Dans cette hypothèse, la matière pondérable doit, si elle est libre, se contracter suivant les lignes de force et se dilater suivant les directions équipotentielles; d'où une dilatation cubique résultante égale à $\frac{\alpha p}{3\varepsilon}$, $\varepsilon$ étant le coefficient de compressibilité.

Les lois de la dilatation électrique, données par M. Duter en 1879, paraissent confirmer entièrement ces vues. Si l'on admet pour la compressibilité du verre des bouteilles de Leyde employées par lui le chiffre $23,5 \times 10^{-7}$, que l'on trouve dans des Traités de Physique, et pour le pouvoir inducteur spécifique la valeur 5,26, qui ne paraît nullement exagérée (*voir* le Traité de Gordon), la formule précédente est vérifiée numériquement. Il est vrai que les chiffres $11 \times 10^{-7}$ et 1,76 indiqués par M. Duter donneraient un résultat numérique beaucoup plus faible; mais ils ne paraissent pas avoir été déterminés expérimentalement.

M. Moutier (1878) a déduit de considérations entièrement différentes une formule représentant la dilatation électrique et ne différant de la précédente qu'en ce que le coefficient $\alpha = 1 - \frac{1}{\mu}$ est remplacé par 1. Les deux formules $\frac{p}{3\varepsilon}$ et $\frac{\alpha p}{3\varepsilon}$ diffèrent considérablement lorsque $\mu$ est voisin de 1. Celle de M. Moutier conduirait à une valeur très notable de la dilatation électrique dans les gaz, surtout raréfiés; un tel phénomène n'a pas été observé.

Le phénomène électro-optique de M. Kerr paraît venir encore à l'appui de l'hypothèse émise plus haut. M. Kerr a d'ailleurs fait lui-même remarquer que l'intensité du phénomène est proportionnelle aux tensions et pressions $p$ calculées par Maxwell. On peut ajouter que l'effet observé est bien dû à une action *mécanique* sur la matière pondérable, puisqu'il est nul dans le vide. Cette action est *moléculaire,* puisqu'elle rend anisotropes les liquides eux-mêmes : sulfure de carbone, etc.

Les mêmes considérations s'appliqueraient au magnétisme et à la dilatation magnétique. Seulement, pour les corps diamagnétiques, le pouvoir inducteur (ou perméabilité) $\mu$ étant plus petit que l'unité, le coefficient $\alpha$ est négatif, et il y a contraction au lieu de dilatation. Les actions mécaniques en question sont d'ailleurs extrêmement faibles en général. Le

pouvoir inducteur ne différant pas de l'unité de plus de 0,0006 pour la plupart des corps magnétiques ou diamagnétiques, la valeur de $\alpha p$, même dans un champ très intense ($f = 20000$ C.G.S.), ne dépassera guère $\frac{1}{100}$ d'atmosphère. Pour les corps fortement magnétiques, par contre, la force coercitive et le magnétisme rémanent rendent la théorie inapplicable.

---

## RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

### SUR L'EXERCICE 1886.

La Commission, après s'être fait présenter les pièces de comptabilité et avoir vérifié l'état de la caisse, a pu, d'après les renseignements et les documents fournis par le Trésorier, établir ainsi qu'il suit la situation financière de la Société :

*Recettes.*

| | fr |
|---|---|
| En caisse à l'ouverture de l'exercice (1er janvier 1886)........ | 490,10 |
| Produit des cotisations.................................... | 7813,00 |
| Droits d'entrée.............................................. | 200,00 |
| Versements entiers ou partiels de souscriptions perpétuelles... | 1560,00 |
| Intérêts du capital placé.................................... | 1034,70 |
| Produit de la vente des publications de la Société............ | 707,45 |
| Dons.......................................................... | 90,00 |
| TOTAL DES RECETTES....... | 11895,25 |

. *Dépenses.*

| | fr |
|---|---|
| Loyer du siège social........................................ | 600,00 |
| Traitement de l'agent de la Société.......................... | 1600,00 |
| Abonnements aux journaux scientifiques...................... | 246,85 |
| Bibliothèque circulante...................................... | 93,40 |
| Frais de bureau et frais divers (étrennes)................... | 551,50 |
| Recouvrement des cotisations................................. | 195,55 |
| Frais d'expériences pour les séances......................... | 163,00 |
| Séance de Pâques.............................................. | 601,10 |
| Gravure et distribution du *Bulletin* des séances............. | 399,50 |
| Agent de change............................................... | 24,75 |
| Versé en acompte à M. Gauthier-Villars et à M. Mouthiers, graveur, pour nos publications (*suit le détail*).............. | 6884,20 |
| TOTAL DES DÉPENSES...... | 11359,85 |

| | |
|---|---|
| Excédent des recettes sur les dépenses (reste en caisse au 1er janvier 1887)........................................ | 535,40 |

L'importance prédominante, dans nos dépenses, des comptes relatifs à nos publications nous engage à en donner le détail :

| | fr |
|---|---|
| Impression des ordres du jour des séances (novembre 1884 à juillet 1885) | 597,60 |
| Affranchissement de ces ordres du jour | 203,70 |
| Liste des Membres de la Société, cartes de sociétaire, circulaires, etc. | 104,40 |
| Impression et tirage du 1er fascicule du *Bulletin* de nos séances (janvier à juillet 1885) | 1159,90 |
| Versé en acompte sur le 2e fascicule du *Bulletin* de nos séances (novembre à décembre 1885) | 640,10 |
| Impression et correction des 17 premières feuilles du tome III de la Collection des Mémoires de Physique (2e vol. d'Ampère). | 3952,50 |
| Payé à M. Mouthiers, graveur, pour le même volume | 226,00 |
| TOTAL | 6884,20 |

**Situation.**

*Actif.*

| | | | | fr |
|---|---|---|---|---|
| 60 obligations nominatives du chemin de fer du Midi (prix d'achat) | | | | 21360,25 |
| 12 obligations au porteur du chemin de fer du Midi (prix d'achat) | | | | 4272,05 |
| Espèces en caisse | | | | 535,40 |
| Cotisations à recouvrer | | | | 2700,00 |
| Volumes en dépôt chez M. Gauthier-Villars | Coulomb. | 797 | à 6fr le volume | 10656,00 |
| | Ampère I. | 979 | | |
| | | 1776 | TOTAL | 39523,70 |

Il convient de remarquer qu'en calculant la valeur de nos obligations non d'après le prix d'achat, mais d'après la moyenne des cours actuels (392fr), on aurait pour leur valeur totale 28224fr au lieu de 25632fr,30, ce qui porte notre actif à la somme de ........ 42115,40

*Passif.*

Le passif se réduit aux factures de M. Gauthier-Villars non encore soldées :

| | fr |
|---|---|
| Complément de l'impression et du tirage du 2e fascicule du *Bulletin* de nos séances (novembre à décembre 1885) | 271,90 |
| Fascicule de janvier à juillet 1886 | 1205,70 |
| Impression et affranchissement des ordres du jour de nos séances de novembre 1885 à juillet 1886 | 947,85 |
| Expédition de volumes des tomes I et II de la Collection des Mémoires (en particulier 151 volumes du tome II pour les pays de l'Union postale) | 233,75 |
| Circulaire, règlement intérieur, liste des Membres | 145,05 |
| TOTAL | 2804,25 |

*Statistique.*

D'après les renseignements qui nous ont été fournis par M. le Trésorier, la Société française de Physique comptait au 31 décembre dernier 679 Membres, dont :

359 habitant Paris ou dans le département de la Seine,
189 » la province ou les colonies,
89 » l'étranger.

Parmi ces Membres, les Souscripteurs perpétuels sont au nombre de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 98 ayant versé.................. | 200fr, soit.................. | | 19600fr,00 |
| 9 » .................. | 150, » .................. | | 1350,90 |
| 8 » .................. | 100, » .................. | | 800,00 |
| 2 » .................. | 50, » .................. | | 100,00 |
| | | Total....... | 21850,00 |

La Commission des Comptes, ayant ainsi établi le résumé des comptes de recettes et dépenses pour l'année 1886, en propose l'approbation à la Société.

*Les Membres de la Commission des Comptes,*

Cael, H Dufet, J. Violle.

---

## SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 4 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Duhem, Agrégé préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.
Jabbe (Léon), à Paris.
Ivanoff (Basile), Licencié ès Sciences, à Simpheropol (Russie).
Martin (Joseph), à Visé (Belgique).

M. le Président annonce la mort de M. Béclard, doyen de la Faculté de Médecine de Paris, membre fondateur de la Société de Physique. Il donne lecture de la lettre suivante adressée par M. le colonel Sebert, qui fait part à la Société de la mort de M. Hugoniot, capitaine d'artillerie de marine, répétiteur à l'École Polytechnique.

« Paris, 18 février 1887.

» Monsieur le Président,

» J'ai la triste mission de vous annoncer le décès de notre collègue M. le capitaine Hugoniot, mon dévoué collaborateur.

» Il est mort foudroyé par un excès de travail intellectuel, qui avait provoqué chez lui une fatigue cérébrale dont les marques n'étaient déjà que trop visibles lors de la dernière Communication qu'il a faite à la Société de Physique, dans la séance du 7 janvier dernier.

» Cette mort est une grande perte pour la Science : M. Hugoniot laisse inachevés des travaux de haute valeur, sur lesquels il pouvait compter pour rendre son nom illustre, et dont ses amis ne pourront, je le crains, compléter la publication.

» Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mes sentiments dévoués.

» H. Sebert. »

M. le Secrétaire général signale dans la Correspondance : 1° une Note de M. Vacher, *Sur le pendule composé;* 2° une Note de M. Delaurier, *Sur l'utilisation de la force des vagues et des courants de la mer.*

M. Palaz expose le résultat des mesures qu'il a faites au laboratoire de M. H.-F. Weber, à Zurich, sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques liquides. La méthode qu'il a employée permet d'utiliser une durée de charge relativement considérable ($\frac{1}{50}$ de seconde). Dans cette méthode, les deux condensateurs dont on compare les capacités $C_1$ et $C_2$ sont placés dans deux des branches d'un pont de Wheatstone, les deux autres étant occupées par des résistances variables $R_1$ et $R_2$; si l'on emploie un courant alternatif, un téléphone placé dans le pont n'émet aucun son lorsque la relation $R_1 C_1 = R_2 C_2$ est satisfaite.

L'auteur a employé deux condensateurs cylindriques identiques dont la couche isolante avait $1^{mm}$ d'épaisseur; on mesurait d'abord $C_2 = \frac{R_1}{R_2} C_1$ et, après avoir rempli le condensateur $C_2$ du liquide à étudier, on déterminait $C'_2 = \frac{R'_1}{R'_2} C_1$, d'où l'on déduisait la capacité inductive spécifique $D = \frac{C'_2}{C_2}$ du liquide en question. On a obtenu ainsi : pétrole ordinaire, 2,1234; pétrole rectifié, 2,1950; toluène, 2,3649; benzine, 2,3377; sulfure de carbone, 2,6091; huile de navet, 3,027; huile de ricin, 4,610. Afin de vérifier la loi donnée par Maxwell, d'après laquelle l'indice de réfraction d'un diélectrique est égal à la racine carrée de sa capacité inductive spécifique, M. Palaz a mesuré l'indice, pour quelques raies du spectre, de tous les liquides étudiés. L'accord est assez satisfaisant, sauf pour les deux derniers liquides.

L'auteur a, en outre, étudié l'influence de la température sur la capacité inductive spécifique; il a trouvé que la capacité inductive diminue lorsque

la température augmente; conformément à la théorie de Maxwell, cette variation est de même sens que celle de l'indice de réfraction. La variation par degré de température a été trouvée du même ordre que celle donnée par la théorie de Maxwell ($\Delta D = 2n\,\Delta n$), mais pas très concordante (benzol, $\Delta D = 0{,}0036$, $2n\,\Delta n = 0{,}0016$; toluol, $\Delta D = 0{,}0030$, $2n\,\Delta n = 0{,}0016$; sulfure de carbone, $\Delta D = 0{,}0016$, $2n\,\Delta n = 0{,}0025$).

M. Palaz termine par l'exposé de l'application qu'il a faite de cette méthode à la solution d'une question soulevée par Rowland dans sa théorie du phénomène de Hall; il s'agissait de constater si la capacité inductive spécifique d'un diélectrique varie lorsque celui-ci est soumis à une force magnétique très intense. L'auteur, en étudiant la paraffine, l'ébonite, la colophane et le soufre, est arrivé, avec une exactitude de $\frac{1}{5000}$, à un résultat négatif qui confirme celui que M. van Aubel a obtenu, à la même époque, à l'aide d'une méthode toute différente.

M. Pollard communique à la Société une méthode graphique pour représenter la succession des directions et intensités du vent en un lieu donné, méthode imaginée, il y a environ un an, par M. Garnier, sous-directeur de l'Établissement d'Indret.

Cette méthode a le grand avantage de conduire à une définition théorique du vent moyen en un point donné et pour un laps de temps donné; de plus, il est facile d'imaginer la réalisation d'un instrument enregistrant automatiquement les résultats obtenus.

M. Larocque, professeur de Mathématiques à Nantes, a mis à contribution la méthode de M. Garnier dans la rédaction de tableaux et de graphiques de Météorologie qui ont figuré l'année dernière à l'exposition de Nantes.

Le problème à résoudre est le suivant :

En un lieu donné, pendant des intervalles de temps réguliers et petits, que nous prendrons, pour fixer les idées et faciliter le langage, égaux à *une seconde*, on note simultanément la direction et la vitesse moyenne du vent, ces éléments étant fournis, par exemple, par une girouette et un anémomètre tel que le moulinet de Robinson. On forme, avec ces relevés isolés, un tableau à trois colonnes, dont la conception est aisée, mais dont l'emploi ultérieur n'est pas très simple, si l'on veut embrasser d'un coup d'œil les phénomènes qui se sont produits pendant une certaine période de temps.

Un semblable tableau peut être considéré comme la traduction d'une autre série de phénomènes.

Supposons qu'un observateur monté dans la nacelle d'un ballon, *non dirigeable cette fois*, mais suivant exactement les mouvements de la masse d'air qui l'environne, note, à chaque instant, ou plutôt, pendant les mêmes intervalles de temps, à la fois, la *vitesse d'entrainement* et la *direction de sa trajectoire*. Ce sont précisément les vitesses et directions du vent qui entraîne le ballon.

Cet observateur rédigera ainsi un tableau tout analogue au précédent. Supposons-le identique; autrement dit, admettons que le ballon ait précisément subi, à chaque instant de sa course, l'effet d'une brise dont la direction et la vitesse sont les mêmes que les éléments relevés à l'observatoire fixe primitivement considéré. On est conduit ainsi à substituer à une considération abstraite une image tout à fait saisissable, savoir la trajectoire d'un ballon.

Le commencement et la fin de chaque intervalle de temps $\Delta t$ étant marqués sur la trajectoire, on lit immédiatement la direction du vent, qui est celle de la tangente, et en même temps la vitesse moyenne pendant ce petit intervalle

$$v_m = \frac{AB}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Le tracé par points de cette trajectoire est facile à déduire des observations de l'aéronaute ou de celles de l'observateur immobile. On porte à la suite l'un de l'autre des traits rectilignes, ayant la direction du vent et une longueur proportionnelle à la vitesse moyenne, et cela à une échelle quelconque. Ainsi, en abandonnant le ballon dont la conception n'est qu'un simple artifice, on peut transformer le tableau numérique primitif en un graphique qui en est la représentation fidèle.

Ceci posé, considérons de nouveau le ballon et sa trajectoire. Si, au bout d'une période égale à T, il est arrivé en M, on peut dire que les choses se sont passées comme si le ballon s'était rendu directement de O en M, avec une vitesse moyenne, uniforme, $U = \frac{OM}{T}$.

La conception du trajet direct, effectué à une vitesse uniforme par le ballon, conduit immédiatement et logiquement à celle du *vent moyen* (de direction et d'intensité constantes) qui lui aurait fait exécuter le même trajet.

En revenant au premier problème, on voit que la traduction du tableau numérique en graphique a pour conséquence la *définition et la détermination immédiate du vent moyen* en un lieu donné pendant une période quelconque.

Si, la courbe revient à passer au point de départ, le vent moyen pendant cette période est nul, et la vitesse moyenne, abstraction faite de la direction, s'obtiendra en divisant le chemin parcouru par le temps.

Il est facile d'imaginer un dispositif enregistrant directement ce graphique.

Si le ballon se promenait à une petite distance d'une surface plane indéfinie, on conçoit qu'il pourrait tracer sa propre trajectoire et exécuter ainsi, lui-même, le graphique que nous avons en vue.

Il est plus pratique de renverser le dispositif. Le plan sur lequel on veut tracer le graphique est mobile dans tous les sens, tandis que l'organe enregistreur est fixe. Il se compose d'une roulette analogue à celle de l'inté-

graphe de M. Abdank Abakanowitz; la tranche est légèrement striée. Elle ne peut tourner sans provoquer un entraînement du plan dans la direction même de son plan.

Elle est portée par un étrier orienté constamment par une girouette et son mouvement de rotation est commandé par un anémomètre. De la sorte, un point immobile dans l'espace trace la trajectoire cherchée; de plus, à des intervalles de temps réguliers $\Delta t$, un stylet vient imprimer des marques supplémentaires indiquant le commencement et la fin de chaque petite période. Ces repères servent à définir la longueur du chemin parcouru dans le temps $\Delta t$ et à apprécier la vitesse moyenne.

Au nom de M. Édouard Blanc, directeur de l'usine de Marly-Fribourg, M. Émile Reynier présente des accumulateurs genre Planté, *à électrodes amovibles*.

Les plaques, dont la partie active est un plissé Reynier, sont *formées* par le nouveau procédé Planté. Toute trace d'acide nitrique est enlevée, après formation, par un traitement prolongé à l'eau courante. L'expansion excessive des plissés et les gauchissements qui en résultaient sont ainsi évités. Par conséquent, il n'est plus nécessaire de courber les plaques pour diriger le foisonnement.

Chaque électrode est pourvue, à sa partie supérieure, d'un crochet en cuivre. Deux étroites rigoles, ménagées de chaque côté du couvercle, reçoivent, l'une les crochets positifs, l'autre les crochets négatifs. Du mercure remplit ces rigoles et met en bonne communication toutes les plaques de même nom. Ces mêmes rigoles permettent de coupler ensemble plusieurs accumulateurs, en tension ou en quantité, au moyen de ponts métalliques.

Ce montage très simple procure des avantages importants dans la fabrication et l'emploi des accumulateurs. Les plaques peuvent être emballées et transportées séparément, ce qui est aussi commode qu'économique. Le montage et le démontage, n'exigeant aucune soudure, n'appellent pas le secours d'un spécialiste. Enfin l'on peut, en service courant, vérifier quand on veut l'état des plaques. Le remplacement des positifs, s'il devient nécessaire après un long usage, s'opère sans frais de main-d'œuvre et sans difficulté.

---

## *Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques;* par M. A. Palaz.

La mesure de la capacité inductive spécifique des diélectriques a déjà fait l'objet d'un grand nombre de travaux, sans qu'on soit pour cela arrivé à des valeurs concordantes qu'on puisse envisager comme définitives. Plusieurs diélectriques liquides, en particulier,

ont été étudiés à plusieurs reprises à l'aide de diverses méthodes, mais les résultats obtenus diffèrent considérablement entre eux. Les travaux de Schiller, de Hopkinson, de Quincke entre autres, ont donné en effet, pour la capacité inductive spécifique des diélectriques liquides usuels des valeurs concordant à 10 pour 100 près seulement. Cette concordance ne peut pas être envisagée comme suffisante, vu la perfection que comportent actuellement les mesures physiques en général. Les divergences observées proviennent en grande partie de l'influence de la durée d'électrisation employée dans les mesures. Tous ceux qui ont fait des recherches sur les diélectriques liquides dans le but d'en mesurer la capacité inductive ont utilisé des durées d'électrisation très faible ($\frac{1}{20000}$ à $\frac{1}{10000}$ de seconde). Il était intéressant de répéter ces mesures en employant une durée de charge beaucoup plus grande. C'est ce qui m'a engagé à déterminer de nouveau la capacité inductive d'un certain nombre de liquides à l'aide d'une méthode n'ayant pas encore, à ma connaissance, servi à des mesures de ce genre et permettant d'employer des durées d'électrisation de $\frac{1}{50}$ de seconde environ.

Cette méthode permettant de constater avec facilité des variations de capacité très faibles était tout indiquée pour étudier l'influence de la température sur la capacité inductive spécifique, influence déjà pressentie par tous ceux qui se sont occupés de mesures exactes dans ce domaine, mais qui n'avait pas encore pu être déterminée numériquement. Les résultats auxquels je suis arrivé démontrent l'existence de cette influence de la température d'une manière irréfutable, la capacité inductive spécifique des liquides que j'ai étudiés diminuant lorsque la température augmente.

Il s'agissait en outre de vérifier la relation que Maxwell a déduite de sa théorie électromagnétique de la lumière entre la capacité inductive spécifique et l'indice de réfraction d'une même substance. Dans ce but, j'ai déterminé l'indice de réfraction, pour les raies principales du spectre, de tous les liquides soumis à mes recherches.

Profitant des dispositions expérimentales employées dans les mesures indiquées ci-dessus, j'ai recherché si la capacité inductive des isolants varie lorsqu'ils sont soumis à une force magnétique intense. Dans les limites de l'exactitude atteinte, c'est-à-dire à

0,0007 près, il a été impossible de constater une influence de l'action magnétique sur la capacité inductive spécifique des quatre diélectriques étudiés relativement à ce point, savoir de la paraffine, de l'ébonite, de la colophane et du soufre.

2. La méthode de mesure que j'ai employée est une simple modification du pont de Wheatstone; les deux condensateurs dont on veut comparer les capacités $C_1$ et $C_2$ remplacent la résistance à mesurer et la résistance étalon; les deux autres branches du pont sont occupées par deux résistances variables $R_1$ et $R_2$. On démontre assez facilement (¹) qu'un téléphone placé dans le pont n'émet aucun son, lorsqu'on emploie un courant alternatif, si la condition $R_1 C_1 = R_2 C_2$ est satisfaite.

Les deux condensateurs employés l'un $C_1$ comme étalon, l'autre $C_2$ comme condensateur alternativement vide et plein du liquide à étudier étaient formés de deux cylindres en laiton emboîtant l'un dans l'autre et isolés par des fragments d'ébonite, en sorte que la couche libre, comprise entre les deux surfaces cylindriques, avait une épaisseur de $1^{mm}$ environ. La hauteur des condensateurs était de $437^{mm}$, leur rayon de $50^{mm},7$.

La capacité du second condensateur exprimée en fonction de celle du premier est, lorsque la couche isolante est une couche d'air,

$$C'_2 = \frac{R'_1}{R'_2} C_1,$$

et lorsque c'est une couche de liquide

$$C''_2 = \frac{R''_1}{R''_2} C_1,$$

La capacité inductive spécifique du liquide est alors, en admettant que celle de l'air est égale à l'unité

$$D = \frac{C''_2}{C'_2}.$$

Les résistances variables $R_1$ et $R_2$ doivent avoir un coefficient de

(¹) *Journal de Physique*, p. 370; 1886. *Archives des Sciences physiques*. t. XVII, p. 287.

self-induction très faible, afin que la méthode donne des résultats exacts. Elles étaient formées par six couples de fils de maillechort de $0^{mm},15$ de diamètre, tendus sur des isolateurs paraffinés entre les parois du laboratoire et aboutissant à des bornes soigneusement isolées, qui permettaient de faire toutes les combinaisons nécessaires. Trois rhéostats formés chacun de deux fils de maillechort avec un curseur à contact de mercure donnaient la possibilité de faire varier les résistances des branches du pont par degrés insensibles et d'amener ainsi le téléphone à rester silencieux.

L'exactitude de la mesure de la capacité inductive spécifique dépend de celle avec laquelle les résistances $R_1$ et $R_2$, correspondant au bruit minimum du téléphone, peuvent être déterminées. Or, en général, il a été possible de fixer la position du curseur des rhéostats I à III à $0^{m},02$ ou $0^{m},03$ près, ce qui correspond à une exactitude de $0^{ohm},2$ sur 400 ohms en moyenne ou de 0,0005; l'erreur maximum d'une détermination de D est ainsi de 0,002.

En faisant varier l'intensité du courant primaire de la bobine d'induction utilisée dans les mesures, le potentiel moyen de charge pouvait varier dans le rapport de 1 à 64; en effectuant les mesures à l'aide de ces valeurs extrêmes du potentiel moyen de charge, il n'a pas été possible d'observer une variation dans la capacité inductive spécifique du toluol, du benzol et du pétrole; une variation de D de 0,001 aurait pu être constatée facilement.

Il a été par contre possible de constater une variation très sensible de la capacité inductive spécifique avec la température et de la déterminer d'une manière assez exacte. Les mesures ont été faites à des températures voisines de 3°, de 15°, de 30° et de 45°.

Les mesures à une température au-dessus de celle de l'air ambiant ont été faites en plaçant le condensateur n° 3 dans une étuve à air chaud dont la température pouvait être réglée à volonté.

Les températures inférieures à la moyenne ont été obtenues à l'aide d'une double enveloppe cylindrique en métal dont l'espace libre était rempli de glace concassée. Cet appareil avait un défaut impossible à éviter complètement, savoir la condensation de la vapeur d'eau sur les parois du condensateur.

La température du condensateur a été mesurée à l'aide de deux thermomètres placés à mi-hauteur du cylindre et à $0^{cm},5$ des parois intérieure et extérieure.

Le remplissage des condensateurs a toujours été fait avec le plus grand soin de manière à éviter la production des bulles d'air dans l'intérieur de la masse liquide. Cet écueil a pu être complètement écarté, ainsi que l'a montré constamment la concordance des résultats.

L'influence d'un contact permanent d'une heure du liquide avec les parois du condensateur a été trouvée inférieure à 0,5 pour 100; cependant toutes les mesures ont été effectuées aussi rapidement que possible dans le premier quart d'heure après le remplissage.

Voici les valeurs obtenues pour le toluol, le benzol et le sulfure de carbone. Chacun des nombres ci-dessous est la moyenne de plusieurs mesures indépendantes :

| Température. | Capacité inductive D. | Variation pour 1° ΔD. |
|---|---|---|
| | *Benzol.* | |
| 15°,8 | 2,3407 | |
| | | 0,00338 |
| 18,7 | 2,3309 | |
| | | 0,00348 |
| 32,3 | 2,2837 | |
| | | 0,00238 |
| 47,2 | 2,2483 | |
| | *Toluol.* | |
| 3,6 | 2,3751 | |
| | | 0,00072 |
| 17,2 | 2,3649 | |
| | | 0,00366 |
| 44,8 | 2,2637 | |
| | *Sulfure de carbone.* | |
| 2,8 | 2,2696 | |
| 14,8 | 2,6150 | 0,00160 |
| 16,7 | 2,6033 | |

Il ne m'a pas été possible de faire, à un nombre suffisant de températures convenablement espacées, assez de mesures pour déterminer avec exactitude les coefficients de la formule

$$D = D_0 + \alpha t + \beta t^2,.$$

qui semble représenter assez exactement la marche de la capacité inductive avec la température.

3. Afin de pouvoir comparer la capacité inductive spécifique D des liquides étudiés avec leur indice de réfraction, j'ai déterminé cet indice pour les raies principales du spectre. D'après Maxwell, il y a égalité entre la racine carrée de la capacité inductive spécifique et le premier coefficient de la formule de dispersion de Cauchy, c'est-à-dire l'indice de réfraction pour une longueur d'onde infiniment grande. Or cette valeur dépendant du nombre de termes que l'on donne à la formule et correspondant à une longueur d'onde qui n'a pas une signification physique déterminée, il m'a paru préférable de faire la comparaison en vérifiant si la coïncidence des valeurs de $\sqrt{D}$ et de $n$ a lieu, dans toutes les substances, pour la même longueur d'onde. Même en tenant compte de l'influence de la température, cette relation n'est vérifiée que d'une manière approchée. Le Tableau suivant donne les résultats obtenus :

| | Température. | Indice de réfraction pour les raies. G. | F. | D. | B. | Température. | D. | $\sqrt{D}$. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pétrole ordinaire n° 1. | 25°,5 | | 1,4550 | 1,4487 | 1,4460 | 16,2 | 2,1234 | 1.457 |
| » » n° 2. | 25,7 | | 1,4539 | 1,4477 | 1,4454 | 15,4 | 2,0897 | 1.445 |
| » rectifié...... | 26,2 | | 1,4840 | 1,4766 | 1,4744 | 17,7 | 2,1950 | 1.481 |
| Toluol n° 1......... | 21,9 | 1,5167 | 1,5062 | 1,4949 | 1,4903 | 17,7 | 2,3646 | 1.537 |
| » n° 2......... | 22,3 | 1,5165 | 1,5060 | 1,4948 | 1,4901 | 17,2 | 2,3649 | 1.537 |
| Benzol............. | 22,0 | 1,5226 | 1,5115 | 1,4997 | 1,4949 | 17,2 | 2,3377 | 1.517 |
| Sulfure de carbone. | 21,6 | 1,6759 | 1,6516 | 1,6269 | 1,6174 | 25,7 | 2,6091 | 1.609 |
| Huile de navet..... | 24,8 | | | 1,4706 | | 21,0 | 3,027 | 1,737 |
| Huile de ricin...... | 24,6 | | | 1,4772 | | 20,9 | 4,610 | 2,147 |

On sait que l'indice de réfraction des corps en général diminue lorsque la température augmente.

La variation de la capacité inductive spécifique que j'ai constatée étant de même sens que celle de l'indice de réfraction, on a là une nouvelle confirmation de l'hypothèse de Maxwell.

Il y a même plus. Si $\Delta n$ et $\Delta D$ sont les variations de l'indice de réfraction et de la capacité inductive spécifique pour 1° de température, la théorie de Maxwell donne la relation

$$\Delta D = 2n\,\Delta n.$$

Or voici les valeurs de ces expressions pour les liquides étudiés :

| | $\Delta D$. | $2n\,\Delta n$. |
|---|---|---|
| Benzol .................... | 0,0031 | 0,0016 |
| Toluol .................... | 0,0022 | 0,0016 |
| Sulfure de carbone ........ | 0,0016 | 0,0025 |

La concordance des nombres ci-dessus peut être considérée comme assez satisfaisante si l'on tient compte de l'incertitude possible des valeurs de $\Delta D$.

4. J'ai profité de l'installation ayant servi aux mesures précédentes pour essayer de résoudre une question soulevée par Rowland dans sa théorie du phénomène de Hall. Rowland a en effet démontré que le même phénomène doit se manifester dans les diélectriques, c'est-à-dire que le magnétisme doit avoir une influence sur la polarisation dans les diélectriques et, partant, modifier la valeur de leur capacité inductive spécifique.

Voici la disposition expérimentale qui a servi à étudier les variations de la capacité inductive de quelques diélectriques solides sous l'influence d'une force magnétique intense.

Le condensateur formé de deux disques de cuivre polis, de dimensions égales, séparés par la plaque du diélectrique à étudier, était installé sur un support isolant entre les pôles d'un puissant électro-aimant Ruhmkorff placé verticalement et excité par le courant d'une machine Gramme. Un condensateur à disques de Kohlrausch, avec une couche d'air comme diélectrique, servait de condensateur de comparaison. Les deux disques du condensateur placé dans le champ magnétique étaient serrés mécaniquement l'un contre l'autre, afin d'éviter les variations de capacité provenant des changements possibles dans la distance des armatures.

Les mesures qui permettaient d'observer des variations de capacité de moins de 0,0007 portèrent sur des disques de paraffine, d'ébonite, de colophane et de soufre, d'épaisseurs différentes, variant entre $1^{mm}$, $5^{mm}$ et $7^{mm}$.

Il fut impossible d'observer la moindre variation dans la capacité du condensateur, soit en déterminant successivement la position des curseurs des rhéostats réglant les résistances $R_1$ et $R_2$, correspondant au bruit minimum du téléphone dans le cas d'un

champ neutre et d'un champ magnétique, soit en observant si une variation d'intensité du bruit minimum était perceptible à la suite de l'aimantation et de la désaimantation rythmiques de l'électro-aimant.

---

## SÉANCE DU 4 MARS 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Gérard (Éric), Professeur à l'Institut électrotechnique de Montefiore, à Liège.

Hénocque (Dr Albert), Directeur adjoint du laboratoire de Médecine de l'École des Hautes-Études au Collège de France

M. le Secrétaire général donne lecture d'une lettre de M. C.-S. Minot, de Boston, Secrétaire du Comité de la fondation Thompson (*Elisabeth Thompson Science Fund.* 625000fr), annonçant que les revenus annuels de cette somme sont actuellement disponibles et seront distribués à des savants, sans acception de nationalité, qui auraient besoin d'une aide pécuniaire pour des travaux d'ordre scientifique présentant un intérêt général. Le Secrétaire général se tient à la disposition des Membres de la Société qui désireraient de plus amples renseignements.

M. le Président communique à la Société une circulaire du Ministre de l'Instruction publique, annonçant que le vingt-cinquième Congrès des Sociétés savantes s'ouvrira à la Sorbonne le 31 mai prochain.

Il annonce, à ce sujet, que le Conseil de la Société a délibéré sur la question de savoir si la réunion et l'exposition annuelles, dites *réunion de Pâques*, devaient être maintenues à cette époque ou reportées à la Pentecôte comme le Congrès des Sociétés savantes, et a décidé, avant de présenter son avis à la Société, de provoquer une consultation générale auprès de tous les Membres de la Société. M. le Président invite les Membres de la Société à vouloir bien répondre dans le plus bref délai aux questions qui vont leur être adressées.

M. Foussereau expose ses recherches sur la décomposition lente des chlorures par l'eau. On sait depuis longtemps que les dissolutions des sels ferriques éprouvent, sous l'influence de la chaleur, une altération chimique qui se manifeste par une coloration rougeâtre. Il se produit un hydroxyde en

pseudo-solution et une partie de l'acide du sel est éliminée, puis l'hydroxyde se précipite peu à peu à l'état insoluble. L'auteur est parvenu à écarter ce dernier phénomène, en opérant sur des dissolutions très étendues de perchlorure de fer, dont la concentration était comprise entre $\frac{1}{800}$ et $\frac{1}{35000}$, et en les maintenant à l'abri de la lumière qui intervient dans la précipitation du composé formé. On se trouve alors en présence d'un phénomène réversible s'accomplissant dans chaque cas jusqu'à une limite qui dépend des conditions où le sel est placé.

M. Foussereau a appliqué à l'étude de ces phénomènes une méthode déjà employée par lui dans ses recherches antérieures et reposant sur la mesure des résistances électriques des dissolutions étudiées. Cette méthode présente l'avantage de conserver toute la sensibilité quand la concentration décroît. Les dissolutions étaient, après leur préparation, partagées en plusieurs portions, que l'on maintenait à des températures déterminées. On prélevait sur ces liquides des échantillons qu'on refroidissait rapidement et dont on mesurait la résistance à une température voisine de 15°. On réduisait ensuite toutes ces résistances à une même température par l'application d'une formule de correction.

On peut résumer comme il suit les résultats obtenus :

1° A une température déterminée, la conductibilité d'une dissolution croît, d'abord très vite, puis plus lentement à partir de sa valeur initiale $C_0$, et tend vers une limite déterminée C.

2° La vitesse de la réaction croît à mesure que la température s'élève.

3° La limite C croît à mesure que la température s'élève, jusqu'à une valeur $C_1$ correspondant à une certaine température $\theta$, à partir de laquelle elle ne change plus, la réaction étant sensiblement complète. La valeur de $C_1$ est en général supérieure au double de $C_0$.

4° Quand le liquide, chauffé d'abord au-dessus de $\theta$, est ramené à une température $t$ inférieure à $\theta$, sa conductibilité diminue progressivement et tend vers la limite C qui correspond à la température $t$.

5° En mêlant en proportions déterminées la dissolution non altérée de conductibilité $C_0$ et la dissolution complètement modifiée de conductibilité $C_1$, et en mesurant les conductibilités de ces mélanges, on établit une relation entre la variation relative de conductibilité $x = \frac{C - C_0}{C_1 - C_0}$ et le coefficient d'altération K, ou poids de liquide modifié contenu dans l'unité de poids du liquide total. Ces deux quantités sont égales quand la solution dépasse $\frac{1}{10000}$. La mesure de la conductibilité permet ainsi de calculer dans chaque cas l'altération subie par le liquide.

6° A mesure que la concentration décroît, la vitesse initiale d'altération croît, la limite correspondant à une même température s'élève et la température $\theta$, qui correspond à l'altération complète, s'abaisse.

7° L'addition d'acide chlorhydrique à une liqueur qui a atteint le voisinage de sa limite la fait rétrograder vers son état primitif. Sa conductibilité va alors en décroissant jusqu'à une nouvelle limite.

8° Les phénomènes étudiés s'étendent à des chlorures variés, principalement à ceux dont l'équivalent renferme plusieurs équivalents de chlore.

Les chlorures alcalins ne fournissent pas d'altération sensible dans les conditions de l'expérience.

Le chlorure de magnésium présente une altération faible.

Le chlorure d'aluminium ne s'altère sensiblement à 15° qu'à partir de la concentration $\frac{1}{25000}$; mais, pour des concentrations beaucoup plus fortes, il s'altère aux températures voisines de 100°. Ces altérations présentent tous les caractères de réversibilité déjà signalés.

Le chlorure double de rhodium et de sodium subit des altérations réversibles déjà notables pour la concentration $\frac{1}{100}$. Les altérations de ce sel sont d'une lenteur extrême.

9° Le chlorure de platine se comporte dans l'obscurité comme les sels précédents. Mais ses réactions directes et inverses sont accélérées par l'action de la lumière, sans que leur limite soit changée. Les rayons solaires directs ont pu produire en cinquante minutes un effet qui a exigé sept jours pour se produire dans l'obscurité.

Le chlorure d'or présente les mêmes phénomènes, plus accentués encore. Ses altérations sous l'influence des rayons solaires sont presque instantanées.

M. Duhem expose une théorie des phénomènes pyro-électriques.

Gaugain a cherché à rapprocher les phénomènes pyro-électriques des phénomènes thermo-électriques; son idée, qui avait été à peu près abandonnée, peut être reprise et généralisée.

1. Le fait fondamental qu'il s'agit d'expliquer est le suivant :

Entre les deux faces d'une lame de tourmaline taillée normalement à l'axe d'hémiédrie, existe une force électromotrice lorsque l'équilibre de températures est troublé entre la lame et le milieu extérieur; cette force électromotrice change de sens suivant que la lame de tourmaline s'échauffe ou se refroidit.

La théorie des phénomènes thermo-électriques indique deux conditions nécessaires pour que la force électromotrice ne soit pas nulle :

1° Il doit exister des différences de température entre les divers points de la lame;

2° La structure de la lame doit être hétérogène.

Les différences de température sont dues à ce fait que, dans une lame qui se refroidit, les régions internes sont plus chaudes que les régions externes, tandis que l'inverse a lieu pour une lame qui s'échauffe. Le manque d'homogénéité est dû à la *structure réticulaire* de la substance.

Considérons un milieu à structure réticulaire dans lequel les surfaces isothermes sont des plans parallèles. Entre deux surfaces isothermes voisines existe une force électromotrice proportionnelle à la différence de température et à un facteur qui dépend de l'orientation des surfaces iso-

thermes. Si, à partir d'un point, sur chaque rayon vecteur on porte une longueur proportionnelle à la valeur de ce facteur, pour l'orientation que représente ce rayon vecteur, on obtient la *surface de pyro-électricité.*

Pour connaître la force électromotrice d'une lame de tourmaline, il suffit de multiplier la différence de température qui existe entre l'intérieur de cette lame et la surface par la différence des deux rayons vecteurs de la surface de pyro-électricité normaux à la surface de la lame.

La considération de la surface de pyro-électricité conduit aux lois des phénomènes pyro-électriques et notamment aux conditions indiquées par M. Mallard pour qu'un cristal soit pyro-électrique.

Les phénomènes de piézo-électricité ne sont que des phénomènes de pyro-électricité dans lesquels l'échauffement est dû à la compression. Cette explication rend compte de toutes les particularités de ces phénomènes. Les variations de volume que subissent les cristaux piézo-électriques lorsqu'on les électrise sont dues à une distribution inégale de températures qui se produit dans de semblables cristaux par l'effet de l'électrisation.

M. P. Curie pense que la conductibilité dans la théorie de M. Duhem est une conductibilité fictive qui intervient comme un artifice de calcul. — Prenons une tourmaline avec circuit extérieur conducteur réunissant ses extrémités; en faisant varier la température du cristal, les phénomènes électriques sont absolument différents de ceux que l'on obtient en faisant naître et disparaître une force électromotrice dans le circuit extérieur.

M. Curie admet que les phénomènes pyro- et piézo-électriques ont une origine commune, la déformation du cristal. Mais il ne saurait admettre qu'ils soient identiques et que la compression n'agisse que comme producteur de chaleur. Les effets calorifiques mis en jeu par la compression sont beaucoup trop minimes pour expliquer le dégagement d'électricité observé. De plus, le dégagement d'électricité par pression est instantané, ce qui ne serait pas s'il fallait attendre le refroidissement du cristal.

M. Duhem répond que l'on sait, depuis M. Du Bois-Reymond et Gaugain, que les phénomènes produits dans le circuit extérieur d'une tourmaline sont identiques aux phénomènes produits dans le circuit extérieur d'une pile de grande force électromotrice et de grande résistance. Quant aux autres faits signalés par M. Curie, ils sont des conséquences de la théorie de M. Duhem.

M. Vaschy fait observer qu'il semble résulter des lois expérimentales connues que l'électrisation Q prise par un cristal est proportionnelle à son *élévation de température* $(T'_1 - T'_0)$ *et se maintient* (sauf déperdition lente par conductibilité) lorsque la température finale $T'_1$ devient uniforme dans le cristal. D'après M. Duhem, cette électrisation serait au contraire proportionnelle à la *différence actuelle* $(T_1 - T_0)$ de température entre les faces et le milieu du cristal; le maintien prolongé de la charge Q con-

duirait alors à admettre que la différence ($T_1 - T_0$) se maintient en réalité, alors qu'il semble que la température est devenue uniforme.

M. Duhem répond que la charge Q ne se maintient, après que la température est devenue uniforme, que dans les cristaux mauvais conducteurs; il n'a envisagé que les substances conductrices.

---

## *Sur la décomposition lente des chlorures par l'eau;* par M. G. Foussereau.

On a observé depuis longtemps que divers sels de peroxyde de fer, en particulier le perchlorure, subissent en présence de l'eau des altérations progressives. La dissolution, primitivement incolore ou faiblement colorée, prend une nuance rougeâtre de plus en plus prononcée. Il y a séparation partielle de l'acide et formation de produits hydratés solubles ou pseudo-solubles donnant à la liqueur sa coloration. En même temps un second phénomène, qui paraît être favorisé par l'action de la lumière, amène une nouvelle modification moléculaire de l'hydroxyde ou de l'hydroxychlorure formé et en provoque la précipitation à l'état insoluble.

De nombreux expérimentateurs ont signalé la production de ces effets sous l'influence d'une élévation de température et en ont fait l'objet de recherches. Rappelons notamment l'étude faite par Péan de Saint-Gilles ([1]) sur l'acétate ferrique, les expériences de Graham ([2]) sur l'oxyde de fer colloïdal contenu dans la dissolution des sels basiques, les recherches de M. Debray ([3]) sur le perchlorure de fer, celles de Krecke ([4]) et de Tichborne ([5]) sur le même sujet, les expériences de M. G. Wiedemann ([6]) fondées sur l'étude des propriétés magnétiques.

---

([1]) Péan de Saint-Gilles, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XLVI, p. 47.

([2]) Graham, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXV, p. 177.

([3]) Debray, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, t. LXVIII, p. 913.

([4]) Krecke, *Archives néerlandaises*, t. VI, 1871.

([5]) Tichborne, *Proceed. of the Royal Irish Academy*, 1871.

([6]) G. Wiedemann, *Annalen der Phys. und Chem.*, N. F., V, p. 45; 1878.

M. Berthelot (1) a fait une série de recherches, qui ont porté plus particulièrement sur le sulfate, l'azotate et l'acétate ferrique. L'observation des phénomènes thermiques qui accompagnent les réactions l'ont conduit à un ensemble de résultats concernant l'influence de la dilution, du temps, de la chaleur, des proportions d'acide et de base, enfin de la présence d'un autre sel.

J'ai entrepris d'appliquer à l'étude des questions de cet ordre une méthode différente de celles qui ont été employées par les auteurs que je viens de citer. Elle consiste à mesurer les résistances électriques qui caractérisent à une même température les dissolutions salines parvenues à divers degrés d'altération, et à tirer de ces mesures une évaluation de l'altération subie. Comme ces résistances varient généralement entre des limites très étendues, leur détermination permet de préciser l'interprétation des faits, en étendant leur examen à beaucoup de cas où les autres méthodes ne présentent plus qu'une sensibilité insuffisante. En particulier, on peut ainsi opérer avec précision sur des liquides extrêmement dilués, qui se prêteraient mal à d'autres genres d'expériences.

Le procédé adopté pour la mesure des résistances et la disposition expérimentale dont j'ai fait usage ont été décrits dans un travail précédent (2). Cette méthode m'a déjà servi à étudier la résistance des sels fondus (3) et, avec quelques modifications, celles de l'eau distillée (4) et de l'alcool absolu (4).

Le tube de verre à quatre branches verticales contenant le liquide à étudier était plongé dans un bain d'eau muni d'un thermomètre. Le tout était disposé à l'intérieur d'une boîte rectangulaire en bois, permettant de maintenir au besoin l'appareil dans l'obscurité. Le couvercle de cette boîte était formé d'une plaque d'ébonite traversée par la tige du thermomètre et par les fils nécessaires aux communications électriques.

(1) Berthelot, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 4e série, t. XXX, p. 152, 1873. *Essai de Mécanique chimique*, t. II, p. 284.

(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 6e série, t. V, p. 244. *Séances de la Soc. de Phys.*, année 1884, p. 212.

(3) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 6e série, t. V, p. 355 et 333 et *Séances de la Soc. de Phys.*, année 1884, p. 231 et 236.

(4) *Séances de la Soc. de Phys.*, année 1885, p. 175.

Toutes les mesures ont été faites à la température ordinaire du laboratoire ou à une température voisine, choisie de manière à atténuer l'influence des variations de la température extérieure. Les résistances obtenues [1] étaient ensuite réduites à la température $0^\circ$ par l'application de la formule

$$R_0 = R(1 + \mu t),$$

dans laquelle $\mu$ représente un coefficient numérique obtenu pour chaque sel par des expériences préalables croisées de manière à éliminer l'influence de l'altération qui se produisait pendant la durée de ces déterminations. Les valeurs de $\mu$, obtenues pour les divers sels étudiés aux différents degrés de concentration et d'altération, furent trouvées très voisines les unes des autres [2]. Elles oscillent autour de 0,033. La température du bain ayant peu varié, les petites erreurs qui peuvent demeurer sur l'évaluation du coefficient $\mu$ n'affectent que d'une manière négligeable les rapports des résistances réduites.

### I. — Recherches sur le perchlorure de fer.

Les expériences sur le perchlorure de fer ont été les plus étendues. Ces expériences ont porté sur des dissolutions contenant des quantités de sel comprises entre $\frac{1}{581,4}$ et $\frac{1}{33260}$ en poids. On n'a pas dépassé la première concentration, parce que le phénomène de décomposition du sel en acide et hydroxyde soluble, phénomène réversible qu'il convient d'isoler, se complique aux concentrations plus grandes d'une précipitation partielle d'hydroxyde insoluble. Ce dernier phénomène peut être évité à peu près complètement aux grandes dilutions, si l'on a soin de maintenir le liquide à l'abri de la lumière.

La limite inférieure $\frac{1}{33260}$ a été adoptée pour éviter d'introduire des perturbations dues à la conductibilité de l'eau distillée.

(1) La résistance mesurée était celle d'une colonne cylindrique de liquide de $6^{cm}$ de longueur et de $0^{cm},81$ de diamètre.

(2) M. Bouty (*Séances de la Soc. de Physique*, année 1884, p. 118) avait déjà constaté que les valeurs de ce coefficient sont presque identiques pour des sels très variés.



Un poids connu de sel était dissous dans un poids déterminé d'eau distillée. Aussitôt après la préparation de cette dissolution, on en mesurait la résistance. On partageait ensuite le liquide en plusieurs portions, dont une était laissée à la température ordinaire, tandis que d'autres étaient portées et maintenues dans des récipients entourés d'un bain-marie, soit à 100°, soit à des températures intermédiaires. On prélevait sur ces dernières des échantillons, qu'on refroidissait rapidement et dont on mesurait la résistance.

J'ai reconnu ainsi que ces dissolutions s'altèrent à toute température, en prenant des résistances décroissantes. Cette circonstance pouvait être prévue, puisque la décomposition du sel produit, outre l'hydrate soluble, de l'acide chlorhydrique environ trois fois plus conducteur à lui seul que le sel qui lui a donné naissance.

Le changement de conductibilité, très lent aux températures ordinaires, s'accélère à mesure que la température s'élève et devient très rapide à 100°. Il n'est cependant pas instantané, même à cette dernière température. Ainsi une dissolution contenant $\frac{1}{381,4}$ de sel et présentant la résistance réduite initiale

$$R_0 = 5526^{\text{ohms}}$$

a été portée à 100°, puis maintenue quelque temps à cette température.

On en préleva successivement plusieurs échantillons dont on mesura la résistance après les avoir refroidis. On a obtenu ainsi les résultats suivants :

| Durées de chauffe. | Résistances. |
|---|---|
| m | ohms |
| 0 | 5526 |
| 1 | 2413 |
| 5 | 2102 |
| 15 | 2048 |
| 33 | 2016 |
| 70 | 2020 |
| 100 | 2015 |

On voit que la résistance va en diminuant jusqu'à la valeur 2016, qui correspond à trente-trois minutes de chauffe. Elle reste ensuite stationnaire. Le sel a atteint son état définitif.

Une autre portion du même liquide, maintenue à 84°, prend aussi des résistances décroissantes, mais suivant une progression moins rapide. Après quatre-vingts minutes seulement, les mesures fournissent des résistances sensiblement invariables :

2023, 2013, 2020.

Dans la limite d'exactitude des expériences, ces résultats sont identiques aux précédents.

Il n'en est plus de même à 69°,2. Après cinq heures huit minutes de chauffe, la résistance, devenue à peu près stationnaire, a pour valeur

2127,

chiffre notablement plus élevé que les précédents.

Enfin, à la température ordinaire du laboratoire, au bout de soixante-quatorze jours, le liquide a pris une coloration prononcée. Mais sa résistance est encore

3792,

et continue à diminuer très lentement.

Les faits suivants peuvent être conclus de ces résultats :

1° L'altération du liquide est d'autant plus rapide que la température est plus élevée;

2° Aux basses températures, cette altération tend vers une limite qui s'éloigne de l'état primitif à mesure que la température s'élève;

3° Au-dessus d'une certaine température, cette limite demeure sensiblement la même. On peut dès lors regarder la modification chimique comme complètement accomplie.

L'étude du perchlorure de fer à des dilutions plus étendues confirme ces résultats.

Reprenons maintenant la dissolution modifiée par son maintien à la température 100° et laissons-la séjourner pendant un temps suffisant à une température plus basse $t$, à laquelle la réaction directe serait incomplète. Dans ces conditions, le liquide reprend des résistances progressivement croissantes, c'est-à-dire qu'il rétrograde vers son état primitif. Ce retour en arrière se ralentit de

plus en plus, à mesure que la résistance se rapproche d'une certaine limite. Cette limite est identique à celle que tend à atteindre la résistance décroissante de la dissolution primitive, quand on la maintient à cette même température *t*.

Par exemple, une partie de la dissolution précédente, après avoir fourni à 100° la résistance

2015,

a été ramenée à 69°,6; sa résistance est devenue :

| | | |
|---|---|---|
| Après | 1h 2m | 2049 |
| » | 3.40 | 2076 |
| » | 5.48 | 2098 |
| » | 7.30 | 2114 |

Ce dernier résultat diffère peu de 2127 obtenu par l'observation du liquide primitif à la même température.

Une autre portion de la dissolution modifiée a été laissée à la température ordinaire pendant plusieurs mois. La résistance atteignait :

| | | |
|---|---|---|
| Après | 2 jours | 2084 |
| » | 4 » | 2136 |
| » | 11 » | 2291 |
| » | 24 » | 2426 |
| » | 74 » | 2915 |

Ce dernier chiffre est encore éloigné de 3792, auquel est parvenu le liquide primitif au bout du même temps. Mais ils continuent à se rapprocher. Les réactions étant très lentes à la température ordinaire, il faudrait des années pour les amener à se confondre sensiblement. Avec des dissolutions plus étendues, la réaction devient beaucoup plus rapide, même à cette température, et permet d'observer une limite plus exactement déterminée.

Reprenons enfin une portion du liquide qui, après vingt-quatre jours de refroidissement, a rétrogradé jusqu'à la résistance 2426, et reportons-le à 100° une seconde fois. Sa résistance après trente minutes de chauffe redevient

2035,

nombre très voisin de ceux qu'on avait trouvés d'abord à la même température. Ramenons-le aux basses températures : il rétrograde

de nouveau vers des résistances plus élevées. L'expérience reproduite plusieurs fois fournit les mêmes résultats.

Les dissolutions observées ont été maintenues pendant ces expériences à l'abri de la lumière. Quand on les laisse exposées au jour, il s'y dépose lentement un précipité d'hydroxyde insoluble, et la résistance du liquide augmente. Il en résulte que l'hydroxyde à l'état pseudo-soluble contribue au passage de l'électricité à travers la dissolution.

Les dissolutions très étendues et fortement acides ne peuvent être conservées dans des récipients en verre. J'ai constaté qu'une dissolution contenant $\frac{1}{13200}$ d'acide chlorhydrique, maintenue dans un flacon de verre, prend des résistances progressivement croissantes par suite de la transformation de l'acide en chlorure de sodium moins conducteur. Cette transformation s'effectue aux dépens du verre. A la température 100° la résistance de cette même dissolution a varié du simple au double en moins d'une heure.

On n'observe rien de semblable, quand les liquides sont conservés dans des vases de porcelaine. J'ai été conduit ainsi à employer de petits ballons de porcelaine, d'une contenance d'environ un quart de litre.

*Mesure de l'altération produite.* — On peut se proposer de déterminer quelle est, à un instant donné de l'expérience, la fraction transformée K de la masse totale, c'est-à-dire le poids de liquide modifié contenu dans l'unité de poids du mélange total. Nous donnerons à cette quantité le nom de *coefficient d'altération*.

Pour l'obtenir, il faut chercher une relation entre elle et la résistance réduite que fournit l'expérience. On y arrive en mêlant en proportions connues le liquide primitif récemment préparé et encore intact, avec le liquide complètement modifié par le chauffage à 100°. Ces mélanges correspondent à des valeurs connues de l'altération K, et la mesure de leurs résistances permet d'établir la relation cherchée.

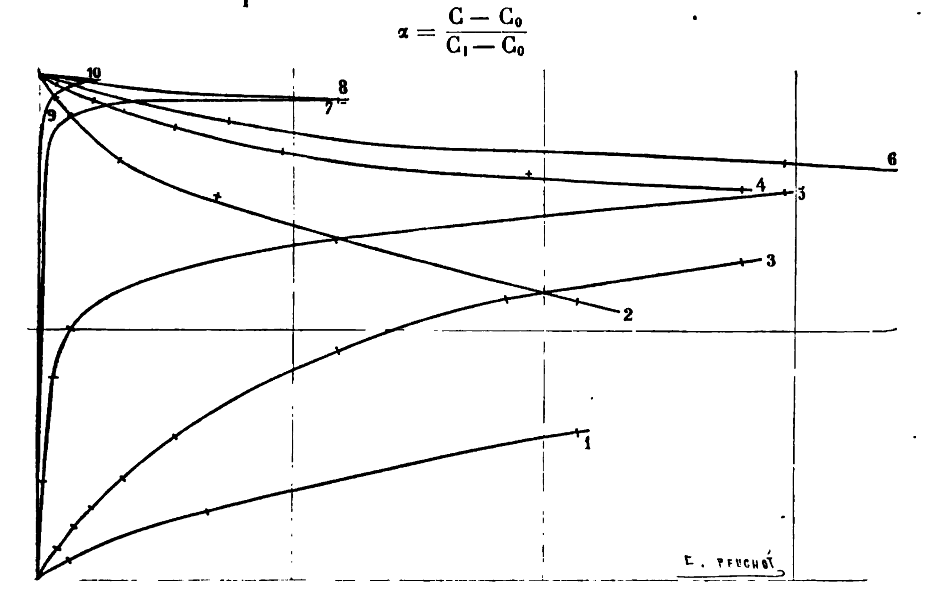
J'ai opéré ainsi, pour chaque degré de concentration, sur trois mélanges contenant respectivement $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$ du liquide modifié.

J'ai reconnu tout d'abord que les variations de la résistance sont très loin d'être proportionnelles à celles de l'altération. En

observant les variations des inverses des résistances, c'est-à-dire des conductibilités, on se rapproche beaucoup plus de la proportionnalité aux altérations chimiques.

Désignons par $C_0$ et $C_1$ les conductibilités du liquide primitif et du liquide complètement modifié, par C celle de la dissolution observée. La quantité

$$\alpha = \frac{C - C_0}{C_1 - C_0}$$




ne diffère pas beaucoup du coefficient d'altération K. On trouve que les résultats sont représentés d'une manière satisfaisante par des expressions de la forme

$$K = \alpha[1 + A(1 - \alpha)],$$

dans laquelle le coefficient numérique A est évalué au moyen des trois expériences préalables que je viens de décrire. Chacune de ces trois expériences fournit pour A une valeur peu différente. On a adopté comme valeur de cette constante leur moyenne arithmétique. Les erreurs que l'on pourra commettre seront faibles, A étant toujours assez petit.

Les valeurs trouvées pour le coefficient A, correspondant à diverses concentrations, décroissent de 0,1554 pour la concentration $\frac{1}{381,1}$ à 0,0067 pour la concentration $\frac{1}{8206}$.

Au delà de cette dernière concentration, on peut regarder comme négligeable la valeur de ce coefficient. L'altération est alors égale à la variation de conductibilité et la formule se réduit à

$$K = \alpha.$$

Les résultats obtenus sont représentés, par les courbes de la figure ci-contre dont les abscisses figurent les temps et les ordonnées les coefficients d'altération. Les courbes 1, 3, 5, 7, 9 correspondent aux dissolutions non chauffées, et les courbes 2, 4, 6, 8, 10 aux dissolutions préalablement portées à 100°, pour les concentrations $\frac{1}{581,4}$, $\frac{1}{1469}$, $\frac{1}{5414}$, $\frac{1}{22695}$, $\frac{1}{33260}$.

*Influence de la concentration sur la limite.* — 1° On voit immédiatement, à l'inspection de ces courbes, que la limite commune, vers laquelle tendent les dissolutions de même concentration, est d'autant plus voisine de l'état primitif que la concentration est plus grande. Cela revient à dire que le rôle de l'eau croît en importance à mesure que sa proportion croît dans le mélange :

| Concentrations. | Limites. |
|---|---|
| $\frac{1}{581,4}$ ........... | Entre 0,30 et 0,50 |
| $\frac{1}{1469}$ ........... | Entre 0,64 et 0,78 |
| $\frac{1}{5414}$ ........... | Environ 0,82 |
| $\frac{1}{22695}$ ........... | » 0,95 |
| $\frac{1}{33260}$ ........... | » 0,98 |

*Influence du temps.* — 2° La vitesse initiale d'altération croît plus vite que l'inverse du carré de la concentration. Cette vitesse diminue ensuite très rapidement à mesure qu'on s'approche de la limite. Au contraire, la rétrogradation devient plus lente à mesure que la concentration diminue; mais, comme la limite se rapproche en même temps de l'unité, le temps total nécessaire pour atteindre le voisinage de cette limite va en décroissant.

Pour atteindre une valeur de K égale à 0,25, il faut, pour les cinq dissolutions comparées, les temps suivants :

$$54^j,\quad 15^j,\quad 28^h,\quad 39^m,\quad 14^m.$$

*Influence de la température sur la limite.* — La température

à partir de laquelle l'altération est complète s'abaisse à mesure que la concentration diminue.

| Concentrations. | Températures d'altération complète. |
|---|---|
| $\frac{1}{581,4}$ | 84° |
| $\frac{1}{1469}$ | 76 |
| $\frac{1}{5414}$ | 65 |
| $\frac{1}{22696}$ | 42 |
| $\frac{1}{33260}$ | 30 |

*Influence de l'excès d'un des éléments de la réaction.* — Les phénomènes que nous venons d'exposer étant dus à l'équilibre qui s'établit entre deux réactions contraires, on doit s'attendre à voir les conditions de cet équilibre se modifier, quand on ajoute au liquide un excès de l'un des produits de la réaction, par exemple d'acide chlorhydrique. Cette addition provoque, en effet, un retour progressif de la liqueur vers sa constitution primitive, jusqu'à un état d'équilibre nouveau.

J'ai pris une dissolution de perchlorure de fer, de concentration $\frac{1}{4987}$, présentant la résistance initiale

35510.

Au bout de soixante-dix-sept jours, sa résistance était devenue

19160.

Il fut mêlé alors dans un ballon de porcelaine avec un volume égal d'une dissolution chlorhydrique au $\frac{1}{13200}$, dont la résistance initiale était

26430.

Ce mélange fournit les résultats suivants :

| Temps écoulés. | Résistances. |
|---|---|
| 10 minutes | 22920 |
| 133 » | 23000 |
| 43 heures | 23300 |
| 4 jours | 23610 |
| 23 » | 25100 |
| 39 » | 25940 |

Il y a donc rétrogradation du liquide et reconstitution partielle du perchlorure décomposé.

Dans ce même intervalle de trente-neuf jours, la dissolution pure de perchlorure de fer employée à l'expérience avait continué à tendre vers sa limite. Sa résistance était tombée de

19160 à 18680.

L'addition de l'acide a donc réellement provoqué un phénomène contraire.

Une autre portion de ce mélange a été portée à 100° aussitôt après sa préparation. Cette portion, refroidie et abandonnée à elle-même, a donné :

| Temps écoulés. | Résistances. |
|---|---|
| 15 minutes | 21530 |
| 150 » | 21750 |
| 42 heures | 22130 |
| 39 jours | 25120 |

Ainsi l'application de la chaleur a d'abord provoqué une décomposition plus complète du chlorure, comme cela a lieu d'ordinaire; mais ensuite le liquide, ainsi modifié, est revenu plus vite que le premier vers sa limite. Leurs résistances tendent de nouveau à devenir égales.

D'autres expériences faites sur des dissolutions diversement concentrées ont donné des résultats analogues.

### II. — Recherches sur divers autres chlorures.

Le phénomène que nous venons d'étudier en détail sur le perchlorure de fer se produit aussi sur un grand nombre de chlorures, notamment sur les chlorures à plusieurs équivalents de chlore.

Les expériences ont porté sur le *chlorure de sodium,* le *chlorure de magnésium,* le *chlorure d'aluminium,* le *chlorure double de rhodium et de sodium,* le *bichlorure de platine,* le *sesquichlorure d'or*. Nous renverrons au Mémoire original pour le détail des expériences.

En résumé, les phénomènes dont nous venons de faire l'étude s'étendent à des corps de formules variées. Ils paraissent affecter

principalement les chlorures à plusieurs équivalents de chlore. Les chlorures à un seul équivalent, notamment les chlorures alcalins, ne manifestent que des altérations faibles ou nulles, soit que leur constitution ne se prête pas au même dédoublement, soit que l'effet de cette altération soit trop rapidement détruit pendant le refroidissement, pour qu'on puisse l'observer.

Dans tous les cas où nous avons pu étudier cette altération, elle présente un caractère de réversibilité parfaitement net, sous l'influence de conditions contraires à celles qui l'ont produite. Elle se distingue ainsi des autres phénomènes qui la compliquent dans certains cas et qui donnent lieu à des précipitations non réversibles de matières insolubles.

La lumière joue un rôle important dans la décomposition de plusieurs de ces substances et leur donne une constitution nouvelle, qui, sans elle, ne serait atteinte que très lentement. Cette action préalable peut sans doute contribuer à rendre plus faciles et plus rapides certaines réactions chimiques de ces corps, quand on les fait agir ensuite sur des agents capables de les réduire même dans l'obscurité.

---

## *Sur une théorie des phénomènes pyro-électriques;*

par P. Duhem.

Certains cristaux hémièdres s'électrisent quand on les chauffe; ce phénomène, observé depuis longtemps sur la tourmaline, a été l'objet, de la part d'un grand nombre de physiciens et en particulier de Gaugain, de très importantes recherches expérimentales. Dans ces dernières années, de nouvelles découvertes sont venues agrandir le champ des phénomènes pyro-électriques. MM. Curie ont montré que les cristaux qui s'électrisaient par la chaleur pouvaient aussi s'électriser par compression. MM. Friedel et Curie ont ensuite effectué sur ce sujet une série de travaux qui ont achevé de débrouiller cette question naguère si obscure. Tous ces travaux sont trop connus pour que j'aie besoin d'y insister. Ils sont

d'ailleurs exposés de la manière la plus nette dans le *Traité de Minéralogie* de M. Mallard

Gaugain avait cherché à rapprocher les phénomènes pyro-électriques des phénomènes thermo-électriques ; il avait même imaginé, en suivant cette idée, une expérience curieuse, décrite dans tous les Traités de Physique. Cette idée a depuis été à peu près abandonnée. C'est cette idée que j'ai reprise, que j'ai cherché à développer, et je demande à la Société de Physique la permission de résumer les résultats auxquels je suis parvenu (1).

Le point de départ de mes recherches a été la théorie des phénomènes thermo-électriques fondée par M. Clausius et par sir W. Thomson sur les principes de la Thermodynamique ; avant d'aborder le problème que je voulais étudier, j'ai dû reprendre la démonstration des formules auxquelles étaient parvenus ces deux illustres physiciens et donner à leur théorie une forme nouvelle ; mais je laisse de côté ces modifications légères pour arriver de suite à l'application de la théorie en question aux phénomènes pyro-électriques, que j'étudierai seulement sur des cristaux bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité.

1. Le fait fondamental qu'il s'agit d'expliquer est le suivant. Entre deux faces d'une plaque de tourmaline taillée normalement à l'axe d'hémiédrie de la substance, il n'existe aucune force électromotrice lorsque la plaque de tourmaline est en équilibre de température avec le milieu ambiant ; lorsque cet équilibre est rompu, il existe entre les deux faces de la tourmaline une force électromotrice qui change de signe suivant que la plaque s'échauffe ou se refroidit.

La théorie des phénomènes thermo-électriques nous montre que, pour qu'un conducteur conduisant l'électricité sans électrolyse possède une force électromotrice, il faut :

1° Que tous les points du conducteur ne soient pas à la même température ;

(1) *Applications de la Thermodynamique aux phénomènes thermo-électriques et pyro-électriques.* Ire Partie : *Phénomènes thermo-électriques* (*Annales de l'École Normale supérieure,* 3e série, t. II, p. 405. IIe Partie : *Phénomènes pyro-électriques* (*ibid.*, 3e série, t. III, p. 263).



2° Que la structure du conducteur ne soit pas homogène.

Nous ne serons pas embarrassés pour découvrir dans notre plaque de tourmaline des différences de température; si la tourmaline s'échauffe, l'extérieur est plus chaud que l'intérieur; si au contraire la tourmaline se refroidit, l'intérieur est plus chaud que l'extérieur. Mais comment la deuxième condition nécessaire de tout phénomène thermo-électrique, l'hétérogénéité du milieu, se trouve-t-elle remplie?

Nous voyons que, si l'on suppose la tourmaline homogène, on ne peut s'expliquer l'existence des phénomènes pyro-électriques, du moins dans la manière de voir que nous poursuivons ici, mais nous n'avons pas lieu de nous en étonner; l'expérience nous montre en effet qu'une étroite relation unit la pyro-électricité à la forme cristalline; or on ne peut pas davantage comprendre l'existence d'une forme cristalline pour un milieu rigoureusement homogène. Pour se rendre compte de la forme cristalline, Bravais, modifiant les idées d'Haüy, a dû attribuer aux milieux cristallisés une *structure réticulaire*. Voyons si cette conception de Bravais, qui a été, qui est encore si féconde en cristallographie, ne nous conduirait pas aussi, dans un ordre d'idées tout différent, à l'explication des phénomènes pyro-électriques.

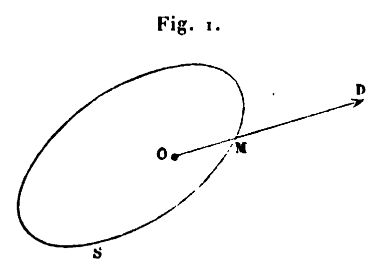
Nous imaginons donc un milieu ayant une structure réticulaire : la température de ce milieu varie d'un point à un autre; nous nous placerons dans l'hypothèse très simple où les surfaces isothermes sont des plans parallèles et nous nommerons *orientation* des surfaces isothermes la direction d'une demi-droite normale à ces surfaces et dirigée dans le sens où la température diminue.

Les principes de la Thermodynamique conduisent alors à cette conséquence fondamentale : si l'on prend deux surfaces isothermes très voisines, l'une à la température T, l'autre à la température $T + \delta T$, entre ces deux surfaces existe une force électromotrice $\rho\,\delta T$, $\rho$ dépendant de la nature de la substance, de la température au point considéré, et, c'est là le point fondamental, de l'*orientation des surfaces isothermes*. Si, par exemple, nous renversons cette orientation, si la température, au lieu de croître de la gauche vers la droite, croît de la droite vers la gauche, $\rho$ prendra une autre valeur $\rho'$.

A partir d'un point O (*fig.* 1), menons une demi-droite OD qui représente l'orientation d'une famille de plans isothermes. Sur cette droite, portons, à partir du point O, un rayon vecteur OM qui représente la valeur de $\rho$ à la température T et pour cette orientation de plans isothermes. Pour chaque température T, le lieu des points M sera une surface fermée entourant le point O; c'est la *surface de pyro-électricité relative à la température* T.

Tout problème de pyro-électricité se ramène à la considération de la surface précédente.

Fig. 1.



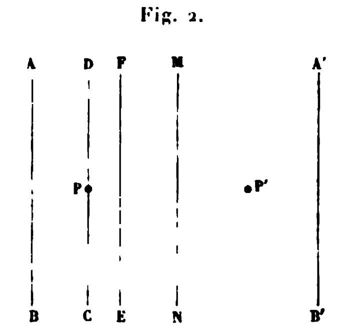

Prenons, par exemple, une lame de tourmaline à faces parallèles qui se refroidit. A l'intérieur de cette lame se trouve un plan MN, parallèle aux faces de la lame (*fig.* 2) qui, à l'instant $t$, possède une température $T_1$ plus élevée que la température d'un autre point quelconque de la lame. Les faces AB, A'B' de la lame sont à une même température $T_0$ inférieure à la température de tous les autres points de la lame.

Partons de la face de gauche AB et allons jusqu'au plan MN. Dans ce trajet toutes les surfaces isothermes que nous rencontrons ont la même orientation; elles sont toutes orientées de droite à gauche; en un quelconque des points P que nous rencontrons sur ce trajet, $\rho$ a une valeur qui dépend uniquement de la température T au point P. Si nous menons un plan isotherme CD par le point P, et, à droite de ce plan, un autre plan isotherme EF correspondant à la température $(T + dT)$, entre le plan CD et le plan EF existera une force électromotrice $\rho(T)dT$. La force électromotrice qui existe entre la face AB et le plan MN aura alors pour valeur

$$\int_{T_0}^{T_1} \rho(T)dT.$$

Passons ensuite de la surface isotherme MN à la face A′B′; dans ce nouveau trajet nous rencontrons des surfaces isothermes qui ont toutes la même orientation; elles sont toutes orientées de la gauche vers la droite; mais cette orientation est inverse de celle que l'on rencontrait en passant de la face AB au plan MN. En un point P′, où la température a une valeur T, $\rho$ a une valeur $\rho'(T)$, différente de $\rho(T)$. La force électromotrice qui existe entre le plan MN et la face A′B′ a pour valeur $\int_{T_1}^{T_0} \rho'(T)\,dT$. Il en résulte que la force

Fig. 2.




électromotrice qui existe entre les faces AB et A′B′ de la lame de tourmaline a pour valeur

$$\mathcal{E} = \int_{T_1}^{T_0} [\rho(T) - \rho'(T)]\,dT.$$

Si, comme il arrive en général dans la pratique, les deux températures $T_0$ et $T_1$ sont peu différentes, on pourra négliger la variation que subit la surface de pyro-électricité avec la température, et écrire simplement

$$\mathcal{E} = (\rho - \rho')(T_1 - T_0),$$

$\rho$ et $\rho'$ étant les valeurs de $\rho(T)$ et $\rho'(T)$ pour une température voisine de $T_1$ et de $T_0$.

De là la règle suivante :

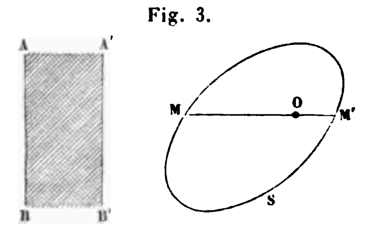
Pour connaître la force électromotrice d'une lame pyro-électrique AB, A′B′ (*fig.* 3), il faut tracer la surface de pyro-électricité S et par le point O, qui sert de pôle à cette surface, mener une normale aux faces AB, A′B′ de la lame. Cette normale rencontre la

surface S en deux points M et M'. En multipliant la différence des deux rayons vecteurs OM, OM', par la différence entre la température $T_1$ à l'intérieur de la lame et la température $T_0$ à l'extérieur. on aura la force électromotrice cherchée.

Cette règle conduit bien simplement aux lois fondamentales des phénomènes pyro-électriques: je veux indiquer seulement une application de cette règle.

Pour qu'un cristal donné, taillé en lame parallèle suivant une direction déterminée, présente des phénomènes pyro-électriques, il est nécessaire et suffisant que le point O ne soit pas le milieu de

Fig. 3.




la corde MM' de la surface de pyro-électricité normale aux faces de la lame. Donc, pour que dans un cristal donné il soit possible de tailler des lames à faces parallèles qui présentent des phénomènes pyro-électriques, il est nécessaire et suffisant que le point O ne soit point centre de la surface de pyro-électricité.

Or, l'ensemble de la surface de pyro-électricité et du point O forme une certaine figure, et cette figure présente au moins la même symétrie que la structure du milieu cristallin à l'intérieur de l'une des mailles du réseau. D'autre part, on est naturellement porté à supposer, au moins comme première approximation, que la surface de pyro-électricité a la forme d'un ellipsoïde. Si l'on fait cette hypothèse, voici comment peut s'énoncer la condition pour qu'un cristal déterminé soit pyro-électrique : il faut que la structure interne de la maille du réseau n'admette pas de centre et ait au plus un axe de symétrie. C'est la règle à laquelle M. Mallard est parvenu d'une manière différente; cette règle résume toutes les observations de MM. Friedel et Curie.

Un cristal non compris dans la règle précédente ne peut manifester de phénomènes pyro-électriques que si les déformations altèrent la symétrie naturelle de sa structure.

2. Ces altérations de symétrie jouent un rôle important dans l'étude de la *piézo-électricité,* c'est-à-dire de l'électrisation par compression de certains cristaux, phénomène étudié par M. Curie.

Supposons tout d'abord qu'on étudie une lame d'un cristal naturellement pyro-électrique, par exemple une lame de tourmaline taillée normalement à l'axe. Si l'on comprime brusquement cette lame, il résulte du principe de Carnot qu'elle va s'échauffer à l'instant même, car son coefficient de dilatation est positif. Une fois la compression brusque opérée, si l'on abandonne à elle-même cette lame comprimée et plus chaude que le milieu environnant, elle va se refroidir et manifester les mêmes phénomènes pyro-électriques qu'une tourmaline soumise à un refroidissement. Au contraire, cette tourmaline étant ramenée à l'état neutre, si on la détend brusquement, ce qui la refroidira, puis si on l'abandonne à elle-même, elle va se réchauffer aux dépens du milieu environnant et manifester les mêmes phénomènes qu'une tourmaline qui s'échauffe. C'est précisément ce que nous ont appris les expériences de MM. Curie. Les phénomènes seraient renversés, comme l'ont prévu MM. Curie, pour les cristaux dont le coefficient de dilatation suivant l'axe d'hémiédrie serait négatif.

On peut constater la piézo-électricité dans des cristaux, comme le quartz, qui ne sont pas naturellement pyro-électriques. La pression joue alors un double rôle. Elle rend le cristal pyro-électrique en le déformant et sert en outre à l'échauffer ou à le refroidir.

En suivant l'ordre d'idée que j'indique seulement ici d'une manière générale, on peut expliquer les principales particularités des phénomènes piézo-électriques. Je ne veux point m'attarder ici à l'examen de ces particularités. Je ne m'occuperai plus que d'un seul phénomène qui se rattache aux précédents.

MM. Curie ayant montré que la compression pouvait électriser certains cristaux hémièdres, M. G. Lippmann indiqua que l'électrisation des mêmes cristaux devait faire varier leurs dimensions. MM. Curie ont vérifié par l'expérience cette loi de réciprocité. Voici comment elle s'interprète dans notre manière de voir.

Lorsqu'on maintient à des niveaux potentiels différents les deux faces d'une tourmaline, la température ne garde pas la même valeur en tous les points du cristal; pour que l'équilibre s'établisse il faut que la température prenne dans les parties centrales de la tourmaline, suivant le signe de la différence de niveau potentiel,

une valeur supérieure ou inférieure à celle de la température du milieu ambiant qui était aussi la température initiale du cristal. Par suite de cette variation de température, la tourmaline se dilate ou se contracte, et il est facile de voir que cette dilatation ou cette contraction satisfait en toute occurrence à la loi de réciprocité signalée par M. Lippmann.

Mais, par quel mécanisme s'établit et se maintient cet équilibre dans lequel les diverses parties de la tourmaline ont des températures différentes? Il est facile de s'en rendre compte. Supposons que, cet équilibre étant tout d'abord établi, la distribution de températures par laquelle il est assuré vienne à subir une perturbation infiniment petite; l'équilibre est rompu, un courant infiniment faible prend naissance à l'intérieur de la tourmaline. La quantité de chaleur que ce courant dégage conformément à la loi de Joule est proportionnelle au carré de son intensité; c'est un infiniment petit du second ordre qui doit être négligé; mais, dans l'intérieur du réseau, se produisent des phénomènes thermiques proportionnels à l'intensité du courant, changeant de signe lorsque cette intensité change de sens, et analogues à ceux que Peltier et Sir W. Thomson ont signalé dans les circuits métalliques. Les premiers phénomènes sont liés aux forces électromotrices de pyro-électricité comme les phénomènes de Peltier et de Sir W. Thomson sont liés aux forces électromotrices de thermo-électricité. Cette relation permet de démontrer que le phénomène thermique ainsi produit rétablira aussitôt l'équilibre un instant troublé et en assurera la stabilité.

Telle est, dans ses traits généraux, la théorie que je désirais soumettre à la Société de Physique. On voit que, d'après cette théorie, les phénomènes piézo-électriques ne sont autre chose que des phénomènes pyro-électriques dans lesquels la lame cristalline est échauffée par compression; que les phénomènes pyro-électriques ne sont eux-mêmes que des phénomènes thermo-électriques produits dans des conducteurs dont le manque d'homogénéité est dû à leur structure réticulaire; que, par conséquent, si cette théorie est exacte, ces trois chapitres de la Physique : Thermo-électricité, Pyro-électricité et Piézo-électricité se trouvent réunis en un seul que la Thermodynamique permet de traiter d'une manière entièrement rationnelle.

---

## SÉANCE DU 18 MARS 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 4 mars est lu et adopté.

M. Gernez expose ses recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude de certains composés qui se produisent dans les solutions d'acide tartrique.

Biot avait reconnu que l'acide borique, bien que dénué d'action sur la lumière polarisée, peut cependant changer la loi de dispersion des plans de polarisation que présentent les solutions aqueuses d'acide tartrique droit, et rendre jusqu'à quatre fois plus grand le pouvoir rotatoire de cette substance, et M. Pasteur a trouvé que l'acide tartrique gauche et les acides maliques éprouvent les mêmes effets. Biot avait été conduit par ses mesures à admettre l'existence de « combinaisons moléculaires en proportions continûment variables qui s'opèrent invisiblement dans des milieux liquides, sans qu'aucune de leurs parties se sépare de l'ensemble ». Il y avait là sans aucun doute un phénomène de dissociation, que l'on pouvait peut-être éviter en employant des solutions convenables.

M. Gernez a d'abord reconnu qu'une foule de substances agissaient comme l'acide borique sur l'acide tartrique; tels sont les composés de la classe des amides : formamide, acétamide, urée, etc.; des acides, tels que les acides arsénique, arsénieux, molybdique et antimonique; des sels, tels que les arséniates, les molybdates et les tungstates alcalins. M. Gernez a étudié en particulier le molybdate de soude et le molybdate d'ammoniaque qui peuvent rendre le pouvoir rotatoire d'une dissolution d'acide tartrique, le premier trente-cinq fois, le second cinquante fois plus grand.

Si, à l'aide d'un tube de longueur déterminée, on mesure la rotation produite par une solution contenant un équivalent d'acide tartrique et à laquelle on ajoute des quantités croissantes de molybdate de soude, on trouve que la rotation augmente de quantités sensiblement proportionnelles aux quantités de sel ajoutées, jusqu'à ce que la liqueur en renferme juste un équivalent; de nouvelles additions de molybdate de soude diminuent, mais seulement dans de très faibles proportions, le pouvoir rotatoire.

Ces résultats conduisent à l'interprétation suivante :

Lorsque l'acide tartrique et le molybdate de soude se trouvent dans la solution à équivalents égaux, il y a formation d'une substance dont le pouvoir rotatoire est, à la température de 17 degrés, 37,57 fois celui de l'acide tartrique; la combinaison formée aurait pour composition

$$C^8H^6O^{12}, NaO\,MoO^3$$

et serait assez stable pour persister en présence d'un grand excès de molybdate de soude.

L'étude du molybdate d'ammoniaque met en évidence l'existence d'un composé analogue renfermant non pas un équivalent de ce sel, dont la formule est plus compliquée que celle du molybdate de soude, mais un équivalent d'ammoniaque.

Ces recherches ont été faites à l'aide de l'appareil à pénombres de M. Laurent et les rotations sont relatives à la lumière sensiblement monochromatique du sodium. Au lieu de se servir des tubes classiques en verre épais montés dans une enveloppe de laiton facilement attaquée par les acides et qui, outre leur prix élevé, ont l'inconvénient de ne pas laisser le liquide prendre facilement la température ambiante, M. Gernez a employé des tubes de verre mince présentant à leurs extrémités un rebord contre lequel s'appuie un disque de glace maintenu par une simple bague en caoutchouc.

M. Leduc a étudié expérimentalement la période variable d'un courant lancé dans le circuit d'un électro-aimant de Faraday de grandes dimensions. Puis il a confronté les résultats obtenus avec ceux qu'indique la théorie dans certains cas simples.

M. Leduc rappelle que, si la distance des surfaces polaires ne dépasse pas $0^m,01$, la valeur du champ entre celles-ci peut être représentée à 1 ou 2 pour 100 près par l'une ou l'autre des formules

$$F = mI, \tag{1}$$

$$F = \frac{mI}{1+\mu I}, \tag{2}$$

suivant que le courant I est inférieur ou supérieur à 3 ampères.

Il montre que, si l'on se borne à ces deux cas et *s'il est permis de négliger :*

1° Les courants induits dans les noyaux de fer;
2° Le retard dans l'aimantation ;
3° Le magnétisme rémanent,

la période variable devra être représentée par l'une ou l'autre des équations

$$t = \frac{Sm}{R} \text{L}.n \tag{3}$$

ou

$$t = \frac{Sm}{R(1+\mu I)^2} \text{L}[n + \mu I(n-1)] + \frac{S\mu}{R(1+\mu I)} \frac{mi}{1+\mu i}, \tag{4}$$

dans lesquelles $\frac{1}{n} = 1 - \frac{i}{I}$; S désigne la surface totale embrassée par les spires des bobines, et R la résistance totale du circuit.

Le renversement du courant opéré au moyen d'un commutateur qui n'altère pas sensiblement la résistance R serait représenté par les formules

$$(5)\ t = \frac{Sm}{R} L.2n,$$

$$(6)\ t = \frac{Sm}{R(1+\mu I)^2} L. \frac{2}{1-\mu I}[n+\mu I(n-1)] + \frac{S\mu m^2}{R(1-\mu^2 I)} \frac{I+i}{1+\mu i}.$$

Après avoir exposé la méthode qu'il a suivie, M. Leduc compare les courbes expérimentales avec celles que représentent les équations ci-dessus. Il conclut de cette comparaison, en général peu satisfaisante, faite sur un grand nombre de cas, qu'il y a un retard considérable dans l'aimantation attribuable aux courants induits dans le fer.

Les courbes expérimentales relatives au renversement du courant se divisent toujours en deux parties bien représentées par des équations de la forme

$$t = A.L.n \pm \theta,$$

qui se raccordent directement pour $n = 4$ environ, sauf dans le cas où les surfaces polaires sont en contact; ces deux courbes sont raccordées alors par une troisième qui présente deux inflexions. Cette forme très particulière est en connexion avec le magnétisme rémanent considérable qui se développe lorsque les pièces polaires sont amenées au contact.

M. Leduc compte reprendre l'étude méthodique de ce phénomène sur un électro-aimant dont les noyaux seront formés de fils de fer isolés. Il espère que les hypothèses faites ci-dessus seront alors assez bien fondées.

M. le D[r] Hénocque expose les principes de sa méthode d'*Hématoscopie*. Basée sur l'emploi du spectroscope, cette nouvelle méthode d'analyse du sang comprend deux séries d'observations principales :

1° La détermination de la quantité d'oxyhémoglobine ou matière colorante active du sang, au moyen d'instruments appelés *hématoscopes* et *hématospectroscopes*.

2° L'évaluation de la durée de la réduction de l'oxyhémoglobine par l'examen spectroscopique à travers l'ongle du pouce.

Le rapport entre ces deux données sert à mesurer l'activité de la réduction de l'hémoglobine, c'est-à-dire l'énergie de l'échange de l'oxygène entre le sang et les tissus.

Le dosage de l'oxyhémoglobine s'effectue à l'aide de l'hématoscope, sorte de cuvette prismatique capillaire qui permet d'examiner, avec le spectroscope, le sang pur et non dilué sous des épaisseurs progressives et déterminées par une échelle millimétrique tracée sur le verre. On déduit la quantité d'oxyhémoglobine de l'épaisseur à laquelle on observe ses deux

bandes caractéristiques, également obscures. C'est un procédé photométrique qui ramène le dosage de l'oxyhémoglobine à une expression métrique de l'épaisseur du sang observé.

L'évaluation de la durée de la réduction de l'oxyhémoglobine est faite en examinant, avec un spectroscope à vision directe et à la lumière solaire, le sang à travers l'ongle du pouce. Normalement, on perçoit ainsi la première bande caractéristique de l'oxyhémoglobine avec netteté. Si l'on fait une ligature autour de la phalange, cette bande s'efface peu à peu pour disparaître complètement. La durée de la réduction est le temps qui s'écoule à partir de l'application de la ligature jusqu'à la disparition complète de la bande; la durée moyenne est de soixante secondes à l'état de santé et de repos.

L'évaluation de l'activité de réduction de l'hémoglobine ou énergie des échanges entre le sang et les tissus se calcule par la formule suivante

$$\text{activité de réduction ou } \varepsilon = \frac{\text{quantité d'oxyhémoglobine}}{\text{durée de réduction}} \times 5.$$

L'unité est la quantité centésimale de l'oxyhémoglobine réduite normalement dans le pouce d'un homme possédant 14 pour 100 d'oxyhémoglobine, en l'espace d'une seconde.

M. le D[r] Hénocque présente les appareils servant à ces mesures : 1° l'hématoscope, instrument de précision gradué et vérifié par un procédé photographique, qui, avec un spectroscope à vision directe, suffit à l'analyse qualitative ou quantitative de l'hémoglobine et de ses modifications; 2° les hématospectroscopes dont deux modèles, construits par M. Lutz, sont disposés pour la démonstration et l'étude la plus rigoureuse des phénomènes spectroscopiques du sang; 3° l'hématospectroscope double à fente unique permettant à deux personnes d'observer en même temps ces phénomènes et de contrôler leurs appréciations individuelles.

---

## *Recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude de certains composés qui se produisent dans les solutions d'acide tartrique;* par M. D. Gernez.

Après de longues années d'études persévérantes sur le pouvoir rotatoire des liquides et sur les applications que l'on peut faire de cette propriété aux « recherches de Mécanique chimique », Biot avait reconnu que l'acide borique (¹), bien que dénué

(¹) *Mémoires de l'Academie des Sciences*, t. XVI, p. 259 (1837).

d'action sur la lumière polarisée, à l'état solide ou en solution aqueuse, peut faire éprouver aux solutions d'acide tartrique droit des changements perceptibles seulement aux épreuves optiques; il montra que ces changements se traduisent : 1° par la disparition des anomalies que présente la dispersion des plans de polarisation pour les rayons diversement colorés qui traversent les solutions tartriques; 2° par une augmentation notable du pouvoir rotatoire de ces solutions, pouvoir rotatoire qui peut être rendu jusqu'à quatre fois plus grand pour une quantité convenable d'acide borique.

L'acide tartrique gauche, découvert en 1849 par M. Pasteur (1), manifesta les mêmes propriétés, et, plus tard, M. Pasteur (2) trouva que l'acide borique produit sur les acides maliques des actions analogues.

Les lois suivant lesquelles varie le pouvoir rotatoire dans ces mélanges complexes ont été, de la part de Biot, l'objet de longues et patientes recherches qu'il poursuivit jusque dans ses dernières années; les mesures qu'il effectua sur des solutions de composition variable l'ont conduit à admettre l'existence de « combinaisons moléculaires en proportions continûment variables qui s'opèrent invisiblement dans des milieux liquides, sans qu'aucune de leurs parties se sépare de l'ensemble (3) ».

Il m'a paru intéressant de chercher s'il n'y aurait pas moyen d'élucider cette question de l'existence de combinaisons chimiques en proportions continûment variables, par une étude analogue à celle de Biot appliquée à des solutions dans lesquelles des effets de dissociation risquaient moins de masquer le phénomène principal.

Des expériences préliminaires m'ont conduit à reconnaître qu'il est des substances sans action propre sur la lumière polarisée et qui ont, comme l'acide borique, la propriété de faire disparaître les anomalies de la loi de dispersion des acides tartrique et malique et d'augmenter la valeur absolue de leur pouvoir rotatoire dans des proportions tout à fait inattendues; tels sont les com-

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXVIII, p. 108.
(2) *Ibid.*, t. LIX, p. 244.
(3) *Ibid.*, p. 206 (1860).

posés de la classe des amides : formamide, acétamide, urée, etc.; des acides, tels que les acides arsénique, arsénieux, molybdique et antimonique; des sels, tels que les arséniates, les molybdates et les tungstates alcalins. C'est ainsi, par exemple, que le molybdate de soude, ajouté à une solution aqueuse d'acide tartrique, peut rendre son pouvoir rotatoire plus de trente-cinq fois plus grand et le molybdate d'ammoniaque plus de cinquante fois plus grand. Cette augmentation du pouvoir rotatoire, qui est variable avec le temps, lorsqu'il s'agit de l'acide arsénique, est définitive dès les premiers instants lorsqu'on emploie les molybdates alcalins. Ce sont surtout ces composés que j'ai employés pour l'étude que j'avais en vue : la grandeur des quantités à mesurer, la précision avec laquelle l'appareil à pénombres de M. Laurent se prête aux mesures des pouvoirs rotatoires pour la lumière sensiblement monochromatique du sodium, une légère modification que j'ai apportée à la disposition des tubes qui reçoivent les liquides [1], enfin la grande solubilité des molybdates alcalins dans les solutions aqueuses d'acide tartrique m'ont permis de réaliser assez facilement des expériences précises jusqu'aux limites où leur discussion présente de l'intérêt.

Pour rendre plus facile l'interprétation des résultats et simplifier les calculs, j'ai préparé des séries de dissolutions qui, pour une quantité constante d'acide tartrique droit, contiennent, sous le même volume et à la même température, des quantités de l'autre substance représentant, par rapport au poids employé d'acide tartrique, des fractions simples et graduellement croissantes d'équivalent du corps inactif.

Le Tableau suivant comprend les résultats d'une série d'expériences effectuées à la température de 17° sur des solutions contenant toutes 1gr,250 d'acide tartrique droit, additionnées de quantités croissantes de molybdate de soude, depuis $\frac{1}{24}$ d'équi-

---

(1) Au lieu de faire usage des tubes classiques en verre épais montés dans une enveloppe de laiton facilement attaquée par les acides et qui, outre leur prix élevé, ont l'inconvénient de ne pas laisser le liquide prendre facilement la température ambiante, j'ai employé des tubes de verre mince présentant à leurs extrémités un rebord contre lequel s'appuie un disque de glace maintenu par une simple bague en caoutchouc.



valent jusqu'à $7^{éq}$, et d'eau distillée en quantité telle que les volumes des divers liquides étaient amenés à $50^{cc}$. Les rotations ont été observées à l'aide d'un tube dont la longueur est de $105^{mm},7$. La solution d'acide tartrique sans addition de molybdate de soude présentait une rotation de 0°21′.

| Quantités de molybdate de soude. | Rotations. | Équivalents de ce sel pour $1^{éq}$ d'acide tartrique. | Différences des rotations. |
|---|---|---|---|
| gr | ° ′ | | ′ |
| 0,084........ | 0.50 | $\frac{1}{24}$ | 29 |
| 0,168........ | 1.21 | $\frac{1}{12}$ | 31 |
| 0,336........ | 2.22 | $\frac{2}{12}$ | 61 |
| 0,504........ | 3.23 | $\frac{3}{12}$ | 61 |
| 0,672........ | 4.25 | $\frac{4}{12}$ | 62 |
| 0,840........ | 5.26 | $\frac{5}{12}$ | 61 |
| 1,008........ | 6.26 | $\frac{6}{12}$ | 60 |
| 1,176........ | 7.37 | $\frac{7}{12}$ | 71 |
| 1,344........ | 8.49 | $\frac{8}{12}$ | 72 |
| 1,512........ | 10. 8 | $\frac{9}{12}$ | 79 |
| 1,680........ | 11.30 | $\frac{10}{12}$ | 82 |
| 1,849........ | 12.39 | $\frac{11}{12}$ | 69 |
| 2,017........ | 13.39 | $\frac{12}{12}=1$ | —60 |
| 2,187........ | 13.33 | $\frac{13}{12}$ | — 6 |
| 2,353........ | 13.33 | $\frac{14}{12}$ | 0 |
| 2,521........ | 13.31 | $\frac{15}{12}$ | — 2 |
| 3,024........ | 13.21 | $\frac{18}{12}=1,5$ | —10 |
| 4,033........ | 13.11 | 2,0 | —10 |
| 5,042........ | 12.57 | 2,5 | —14 |
| 6,048........ | 12.44 | 3,0 | —13 |
| 8,066........ | 12.30 | 4,0 | —14 |
| 10,084........ | 12. 1 | 5,0 | —29 |
| 12,100........ | 11.45 | 6,0 | —16 |
| 14,117........ | 11.10 | 7,0 | —25 |

L'inspection de ces nombres conduit à l'interprétation suivante :

1° Lorsque l'acide tartrique et le molybdate de soude se trouvent dans la solution à équivalents égaux, il y a formation d'une substance dont le pouvoir rotatoire est de 37,57 fois celui de l'acide

tartrique ; la combinaison formée aurait pour composition

$$C^8H^6O^{12}, NaO MoO^3.$$

2° On s'explique alors facilement que, dans les solutions qui, pour le même poids d'acide tartrique, contiennent moins de molybdate de soude, l'augmentation de la rotation soit rigoureusement proportionnelle au poids de la substance inactive ajoutée jusqu'à ce que la solution contienne $\frac{1}{2}$ équivalent, et à peine plus grande au delà jusqu'à $1^{éq}$.

3° L'addition de molybdate de soude à la solution qui contient déjà équivalents égaux des deux substances produit des effets à peine appréciables, même pour une addition de $\frac{1}{2}$ équivalent, et très faible lorsqu'on introduit dans le même volume de liquide jusqu'à $7^{éq}$ de molybdate de soude. On peut admettre que la combinaison produite est assez stable pour persister dans ces conditions.

J'indiquerai ultérieurement les résultats de mes expériences sur d'autres substances.

---

*Sur la période variable d'un courant dans le circuit d'un électro-aimant de Faraday* (¹); par M. A. Leduc.

On sait, depuis Faraday, qu'un courant lancé dans le circuit d'un fort électro-aimant croît avec une lenteur telle qu'il est facile d'en suivre l'établissement, soit en observant la rotation progressive du plan de polarisation dans les expériences classiques que l'on répète au moyen de l'électro-aimant de Faraday, soit en plaçant sur le circuit un galvanomètre apériodique convenable.

Dans le cas simple où l'aimantation peut être considérée comme proportionnelle à l'intensité du courant, c'est-à-dire dans les limites où le coefficient L de self-induction demeure sensiblement

(¹) Voir *Journal de Physique*, avril 1887 (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, séance du 31 janvier 1887).

constant, on est porté à admettre, pour représenter l'intensité du courant à chaque instant de la période variable, la formule établie en toute rigueur dans le cas d'une bobine sans fer

$$(1)\qquad i = \mathrm{I}\left(1 - e^{-\frac{\mathrm{R}}{\mathrm{L}}t}\right),$$

dans laquelle $i$ désigne l'intensité du courant au temps $t$, I son intensité définitive, et R la résistance totale du circuit.

Posons

$$\frac{1}{n} = 1 - \frac{i}{\mathrm{I}},$$

et désignons par S la surface totale embrassée par les bobines de l'électro-aimant, par F la valeur moyenne de la force magnétique à leur intérieur, et par $m$ le rapport constant $\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{I}}$. La formule (1) peut alors s'écrire

$$(2)\qquad t = \frac{\mathrm{S}m}{\mathrm{R}}\mathrm{L}n.$$

Or cette formule n'est jamais vérifiée d'une manière satisfaisante en ce qui concerne le gros électro-aimant de Faraday dont nous avons fait usage maintes fois.

Si l'on donne à $n$ une certaine valeur fixe, et si l'on fait varier proportionnellement la force électromotrice E de la pile et la résistance R, on voit que, d'après cette formule (2), le temps $t$ doit varier en raison inverse de R. Cette conséquence ne se trouve à peu près vérifiée que pour $n = 4$ environ. Ainsi, pour doubler la valeur de $t$ avec $n = 100$, il a fallu tripler dans un cas et quadrupler dans un autre la résistance totale du circuit.

Pour bien comprendre à quoi tiennent les écarts considérables constatés entre les résultats d'expériences et ceux que l'on déduit de la formule ci-dessus, il est bon de faire ressortir les restrictions que l'on est obligé de faire en établissant cette dernière.

Si l'on désigne par $\varphi$ le flux de force total qui traverse le circuit au temps $t$, $(\Phi = \mathrm{SF})$, il est clair que la force électromotrice de l'extra-courant de fermeture est à cet instant $\frac{d\varphi}{dt}$. Si donc nous ne tenons pas compte des *courants induits dans les noyaux de fer* des bobines (courants qui seraient sans doute négligeables, en

effet, si les noyaux étaient en fils de fer isolés), nous pouvons écrire l'équation différentielle suivante :

$$\mathrm{E}\,i\,dt = \mathrm{R}\,i^2\,dt + \frac{d\varphi}{dt}\,i\,dt$$

ou

$$(3) \qquad (\mathrm{E} - \mathrm{R}\,i)\,dt = d\varphi.$$

L'intégration de cette équation exige que l'on connaisse l'expression de $\varphi$ en fonction de $i$. Cette intégration ne sera possible d'ailleurs que dans quelques cas simples.

Admettons provisoirement qu'il n'y ait pas de *retard dans l'aimantation,* c'est-à-dire que le flux de force ait à chaque instant la valeur qu'il prendrait à l'état permanent sous l'influence du courant d'intensité $i$ qui circule actuellement dans les bobines. L'expérience nous a montré [1] que pour des valeurs de I inférieures à 3 ampères, on peut représenter à 1 ou 2 pour 100 près la valeur du champ entre les surfaces polaires par la formule simple

$$(4) \qquad \mathrm{F} = m\mathrm{I},$$

et pour des valeurs plus grandes de la force magnétisante, par la formule de M. Frœlich

$$(5) \qquad \mathrm{F} = \frac{m\mathrm{I}}{1 + \mu\mathrm{I}},$$

à la condition que la distance des surfaces polaires ne dépasse pas $1^{\mathrm{cm}}$.

Adopter cette dernière formule dont la précédente n'est qu'un cas particulier ($\mu = 0$), c'est admettre encore que, pour $\mathrm{I} = 0$, on a

$$\varphi = 0,$$

c'est-à-dire qu'*il n'y a pas de magnétisme rémanent.*

Grâce aux trois hypothèses que nous venons de faire, notre équation (3) devient

$$(\mathrm{E} - \mathrm{R}\,i)\,dt = d\left(\frac{\mathrm{S}\,mi}{1 + \mu i}\right)$$

---

(1) Voir *Journal de Physique,* avril 1887; *Comptes rendus,* 15 novembre 1886.

ou

$$(6) \qquad \frac{1}{Sm}\,dt = \frac{di}{(E - Ri)(1 + \mu i)^2}.$$

Cette équation intégrée entre o et $t$ donne

$$(7) \qquad t = \mathrm{AL}[n + \mu\mathrm{I}(n - 1)] + \mathrm{BF}_i.$$

Si l'on pose

$$\mathrm{F}_i = \frac{mi}{1 + \mu i},$$

$$\mathrm{A} = \frac{\mathrm{S}m}{\mathrm{R}(1 + \mu\mathrm{I})^2} \quad \text{et} \quad \mathrm{B} = \frac{\mathrm{S}\mu}{\mathrm{R}(1 + \mu\mathrm{I})}.$$

Dans le cas particulier où $\mu = 0$ on retrouve bien la formule (2).

Considérons maintenant le renversement du courant effectué au moyen d'un commutateur, tel que la résistance R du circuit de l'électro-aimant ne soit pas sensiblement altérée pendant la manipulation. Il suffira, pour obtenir la formule représentative de l'état variable, d'intégrer le deuxième membre de l'équation (6) entre — I et + $i$, ce qui donne

$$(8) \quad t = \frac{\mathrm{S}m}{\mathrm{R}(1 + \mu\mathrm{I})^2}\mathrm{L}\frac{2}{1 + \mu\mathrm{I}}[n + \mu\mathrm{I}(n - 1)] + \frac{\mathrm{S}\mu m^2}{\mathrm{R}(1 - \mu^2\mathrm{I}^2)}\,\frac{\mathrm{I} + i}{1 + \mu\mathrm{I}}$$

et, dans le cas particulier où $\mu = 0$,

$$(9) \qquad t = \frac{\mathrm{S}m}{\mathrm{R}}\mathrm{L}2n.$$

L'équation (9) exprime que les extra-courants de rupture et de fermeture se superposent et ont à chaque instant la même intensité, bien que celui de fermeture ne commence qu'au moment où le courant change effectivement de direction, c'est-à-dire un certain temps après la manipulation.

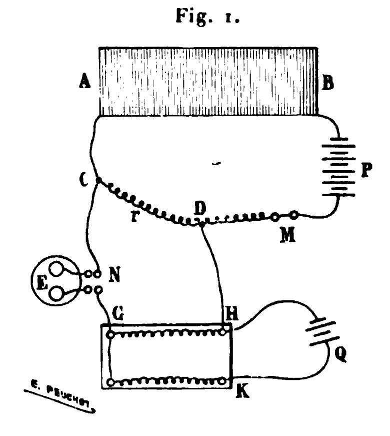
Les seconds membres des équations (2) et (9) ne diffèrent que par une constante. Les courbes qu'elles représentent sont donc parallèles, tandis que les courbes expérimentales qui leur correspondent ne le sont pas.

Il ne faut pas perdre de vue que les formules relatives au renversement du courant reposent, comme les précédentes, sur nos

deux premières hypothèses. Elles sont, du moins en apparence, indépendantes de la force coercitive. La confrontation de ces formules avec les données expérimentales, très intéressantes en elles-mêmes, aura l'avantage de nous montrer jusqu'à quel point ces hypothèses sont bien fondées.

*Expériences.* — Le courant de la pile P (*fig.* 1) est lancé

Fig. 1.




dans le circuit de l'électro-aimant AB, ou bien est inversé au moyen d'un manipulateur M. La différence de potentiel $e$ produite entre les points C et D séparés par une résistance $r (e = ir)$, peut être compensée par une différence égale obtenue au moyen d'une pile de Daniell Q et d'une boîte de résistances étalonnées. Un électromètre capillaire E que l'on peut intercaler à un moment donné dans la branche CG (toujours ouverte) au moyen d'un second manipulateur N, permet de constater que la compensation est obtenue exactement. On arrive à ce résultat après quelques tâtonnements en modifiant peu à peu la résistance GH.

Il est alors facile de suivre de demi-seconde en demi-seconde, par exemple, l'établissement du courant. Il suffit, en effet, de compter successivement à l'aide d'un métronome une, deux, trois, etc. demi-secondes, à partir du moment où l'on a lancé ou renversé le courant, et d'obtenir au bout de ce temps l'équilibre momentané de l'électromètre.

J'ai fait ainsi un grand nombre d'expériences sur notre électro-

aimant de Faraday et modifié successivement la distance des surfaces polaires, l'intensité du courant et la résistance totale R.

Considérons, par exemple, le cas où les surfaces polaires sont distantes de $0^{cm},5$, et où le courant I produit par 2 éléments de Bunsen vaut environ $1^{amp},65$ ($R = 2^{ohms},4$ environ).

Des expériences directes m'ont montré que la valeur du champ en son milieu est bien représentée en pareil cas par la formule

$$F = mI, \tag{4}$$

avec $m = 26300$ (système C.G.S.).

J'ai été conduit d'ailleurs à admettre pour la surface S la valeur $96\,000^{cmq}$.

D'après ces données, l'établissement du courant serait représenté par la formule

$$t = 1{,}05\,Ln,$$

qui correspond à la courbe A de la *fig.* 2.

Fig. 2.

Notre électro-aimant n'est pas dépourvu de force coercitive. Il importe donc de lancer le courant toujours dans la même direction ou bien alternativement en sens contraires. Dans le premier cas, le magnétisme rémanent favorise l'établissement du courant; il s'y oppose dans le second. Les résultats obtenus sont représentés par les courbes B et C. La courbe unique que l'on obtiendrait si le fer de l'électro-aimant était parfaitement doux serait évidemment intermédiaire entre B et C.

On voit sur la *fig.* 2 que cette courbe moyenne, que nous appellerons D, s'élève d'abord beaucoup plus vite que la courbe calculée A, coupe celle-ci en un point qui correspond à peu près à $n = 4$ $\left(\text{soit } \frac{i}{I} = 0{,}75\right)$ et reste ensuite au-dessous d'elle.

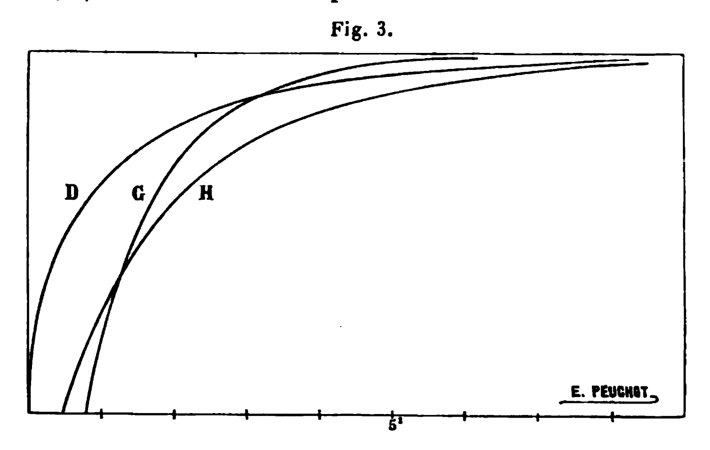
Ce résultat s'explique très bien par l'existence d'un retard dans l'aimantation, dont on peut voir la cause dans les courants induits qui se développent dans le fer et qui tendent en effet à gêner l'aimantation. La pile n'effectue pas dès le début tout le travail de l'aimantation que nous l'avons supposée opérer, de sorte que le courant prend une certaine avance, qu'il perd bientôt parce qu'il doit produire à chaque instant un travail en quelque sorte arriéré, supérieur à notre estimation $\Big($ce travail est proportionnel à $\frac{d\varphi}{dt}$ qui décroît sans cesse$\Big)$.

Les mêmes observations s'appliquent au renversement du courant. Les courbes de la *fig.* 3 représentent l'une (G) la formule

$$t = 1{,}05\,\mathrm{L}\,2n,$$

l'autre (H) les résultats de l'expérience.

Fig. 3.



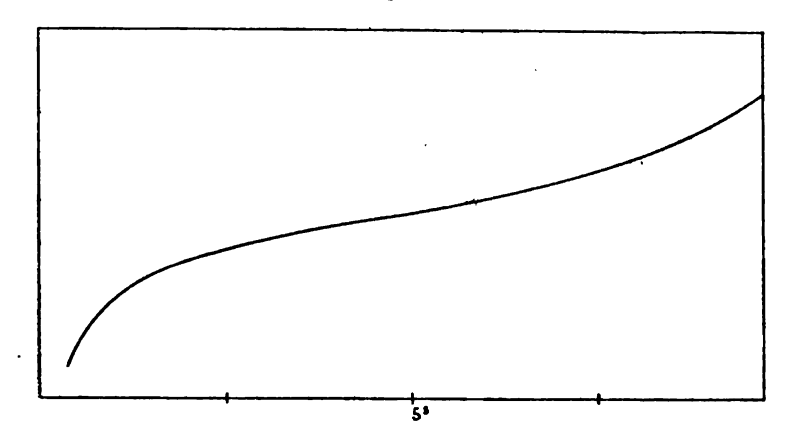

On voit qu'il y a entre elles le même rapport qu'entre les courbes A et D de la *fig.* 2.

*Résultats généraux.* — Toutes les fois que les pièces polaires sont séparées par une couche d'air, les courbes expérimentales

affectent, comme nous venons de le voir, la même forme que les courbes calculées. Il en est encore ainsi lorsque les pièces polaires sont au contact pour les courbes obtenues en lançant le courant toujours dans le même sens; mais les courbes qui représentent soit l'établissement du courant avec changement de sens, soit le renversement de ce courant au moyen d'un commutateur convenable, ont un tout autre aspect. Elles se composent de deux parties qui sont bien représentées par deux équations de la forme

$$t = \mathrm{AL}n \pm \theta,$$

Fig. 4.




raccordées par une courbe à double inflexion. Cette forme très remarquable doit être, selon toute apparence, en rapport intime avec la valeur très considérable du magnétisme rémanent que l'on constate en pareil cas. On suivra aisément sur le Tableau suivant la marche d'une expérience relative au renversement d'un courant égal à $1^{\mathrm{amp}},7$ (fourni par 2 éléments de Bunsen).

| $t$. | $\frac{i}{\mathrm{I}}$. | $\frac{\log n}{t + 3,2}$. | $t$. | $\frac{i}{\mathrm{I}}$. | $\frac{\log n}{t - 7,5}$. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,5... | 0,162 | » | 7... | 0,595 | » |
| 1..... | 0,277 | 0,0335 | 8... | 0,658 | » |
| 2..... | 0,366 | 0,0380 | 9... | 0,741 | » |
| 3..... | 0,417 | 0,0378 | 10... | 0,868 | 0,335 |
| 4..... | 0,465 | 0,0377 | 11... | 0,931 | 0,337 |
| 5..... | 0,511 | 0,0379 | 12... | 0,967 | 0,334 |
| 6..... | 0,550 | 0,0377 | 13... | 0,985 | 0,335 |

Cette même expérience est traduite par la *fig.* 4.

Citons encore une expérience relative au renversement du courant fourni par 4 éléments de Bunsen ($I = 3^{amp},04$) et dans laquelle les surfaces polaires étaient distantes de $0^{cm},5$. La courbe expérimentale peut encore se décomposer en 2 parties qui sont bien représentées par deux équations de la forme

$$t = AL n \pm \theta,$$

raccordées cette fois sans inflexion :

| $t$. | $\frac{i}{I}$. | $\log n$. | $\frac{\log n}{t - 0,4}$. | $\frac{\log n}{t + 0,2}$. |
|---|---|---|---|---|
| 0,5 ....... | 0,064 | 0,0287 | 0,287 | » |
| 1 ......... | 0,348 | 0,1858 | 0,309 | » |
| 1,5 ....... | 0,522 | 0,3206 | 0,291 | » |
| 2 ......... | 0,655 | 0,4622 | 0,289 | 0,210 |
| 3 ......... | 0,799 | 0,6968 | 0,267 | 0,217 |
| 4 ......... | 0,879 | 0,9172 | » | 0,218 |
| 5 ......... | 0,918 | 1,0862 | » | 0,209 |
| 6 ......... | 0,950 | 1,3010 | » | 0,210 |
| 7 ......... | 0,969 | 1,5086 | » | 0,210 |
| 8 ......... | 0,981 | 1,7213 | » | 0,210 |

Nous allons indiquer, en terminant, sous forme de Tableau, comment a varié, avec la distance D des surfaces polaires et le nombre N des éléments de Bunsen qui servaient à produire le courant, le temps $t$ nécessaire au rétablissement du courant à 1 pour 100 près, après renversement (la résistance extérieure à la pile est constante et égale à $2^{ohms},2$ environ).

| | N = 1. | 2. | 4. | 8. |
|---|---|---|---|---|
| | I = $0^{amp},87$. | $1^{amp},7$. | $3^{amp},1$. | $5^{amp},2$. |
| D = $0^{cm}$ ........ | $29^{s}$ | $13^{s},53$ | $7^{s},43$ | $4^{s},50$ |
| 0,25 ..... | » | 15,30 | » | » |
| 0,5 ...... | » | 11,08 | 9,32 | 4,93 |
| 1 ........ | » | 7,74 | 7,70 | 5,30 |
| 2 ........ | » | 5,87 | 5,56 | 4,88 |
| 4 ........ | » | » | 4,1 | 4,00 |
| 40 ....... | » | » | 2,8 | » |

On remarquera que cette durée $t$ est, en général, plus grande lorsque les pièces polaires sont rapprochées que lorsqu'elles sont

très éloignées, mais qu'elle présente un maximum très net pour une distance d'autant plus petite que le courant est lui-même plus faible, et qu'elle diminue d'ailleurs, pour une même distance D, à mesure que l'on augmente l'intensité I du courant.

---

*Méthode d'hématoscopie et appareils pour l'analyse spectroscopique du sang;* par M. le Dr A. Hénocque.

Je désigne sous le terme d'*hématoscopie* un ensemble de procédés d'analyse du sang, basés sur l'emploi du spectroscope et d'instruments de précision appelés *hématoscopes* et *hématospectroscopes.*

Cette méthode comprend deux modes d'observation principaux :

1° La détermination de la quantité d'oxyhémoglobine ou matière colorante active du sang, au moyen d'appareils appelés *hématoscopes* et *hématospectroscopes;*

2° L'évaluation de la durée de la réduction de l'oxyhémoglobine par l'examen spectroscopique à travers l'ongle du pouce.

Le rapport entre ces deux données sert à mesurer l'activité de la réduction de l'oxyhémoglobine, c'est-à-dire l'énergie de l'échange de l'oxygène entre le sang et les tissus.

Deux procédés complémentaires consistent dans l'observation diaphanométrique ou chromométrique et la photographie du sang contenu dans l'hématoscope.

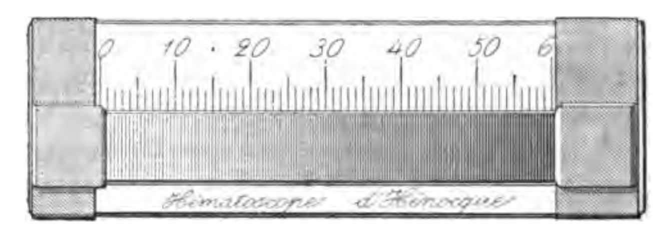
Le principe fondamental de la méthode est que « le sang doit être examiné pur, non dilué, tel qu'il sort des vaisseaux à la suite d'une piqûre, ou être étudié directement à travers les tissus et les parois vasculaires ».

Le problème technique a été résolu en remplaçant l'analyse spectrale du sang dilué, telle qu'on l'a pratiquée jusqu'à présent, par celle d'une couche mince de ce liquide dont l'épaisseur rendue progressivement variable peut être mesurée et notée en valeurs métriques; l'instrument de précision qui permet cette étude est désigné sous le nom d'*hématoscope.*

I. L'*hématoscope* est essentiellement constitué par deux lames

de verre de largeur inégale. Elles sont superposées de façon que, maintenues en contact à l'une de leurs extrémités, elles s'écartent à l'autre extrémité d'une distance de $\frac{300}{1000}$ de millimètre, limitant ainsi un espace prismatique capillaire. La position des lames est assurée au moyen de deux agrafes en laiton nickelé, supportées par la lame de verre inférieure, et formant deux coulisses dans lesquelles la lamelle supérieure est introduite à frottement doux (*fig.* 1).

Fig. 1. — Hématoscope, vu de face, grandeur naturelle.




La disposition de ces diverses parties est représentée en coupe dans la *fig.* 2.

La lame inférieure (*li*) est séparée de la lamelle supérieure (*ls*) par un espace prismatique *s* représenté en noir (il est un peu exagéré dans la figure). La lame inférieure porte à ses deux extrémités les agrafes de laiton; celle de gauche (*ag*) maintient les lames en contact; celle de droite est garnie d'un talon (*t*) ayant $\frac{3}{10}$ de millimètre d'épaisseur, qui détermine l'écartement des deux lames. Ces deux agrafes forment les deux rainures dans lesquelles la lamelle supérieure glisse à frottement doux (*fig.* 2).

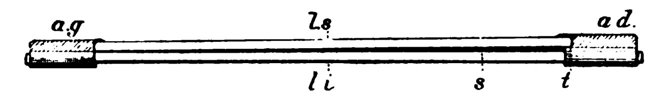
Une échelle graduée en millimètres est gravée sur la plaque inférieure; elle s'étend de $0^{mm}$ à $60^{mm}$. Il résulte de cette disposition que si l'on fait pénétrer du sang entre les deux lames, celui-ci forme une couche dont l'épaisseur varie de gauche à droite entre zéro et $\frac{300}{1000}$ de millimètre ou 300 *micra*.

On peut mesurer l'épaisseur de cette couche au niveau de chaque division de l'échelle; en effet, chaque longueur de $1^{mm}$ correspond à $\frac{5}{1000}$ de millimètre et, pour calculer l'épaisseur en micra, il faut simplement multiplier par 5 le chiffre de l'échelle.

Lorsqu'on introduit du sang entre les deux lames en en déposant quelques gouttes sur la tranche inférieure, ce liquide pénètre

par capillarité et s'étend en couche d'une épaisseur graduellement progressive, de sorte que la coloration, nulle à o, devient rougeâtre, rouge, carminée et de plus en plus intense vers 60. En d'autres termes, le sang présente une teinte progressivement plus foncée de gauche à droite, ainsi que le montre la *fig.* 1. Il est évident que la teinte sera d'autant plus prononcée que le sang contiendra une

Fig. 2. — Coupe de l'hématoscope.




plus grande quantité de matière colorante ou oxyhémoglobine, ce qui permet la mesure comparative et la mesure quantitative de la richesse du sang en oxyhémoglobine ou matière colorante active.

La quantité de sang nécessaire pour l'examen est celle que contient l'hématoscope : théoriquement elle est de 90$^{mmc}$; mais, dans la pratique, le poids du sang contenu dans l'hématoscope est de 90$^{mgr}$ pour le sang contenant 13 pour 100 d'oxyhémoglobine.

II. *Application de l'hématoscope à l'analyse spectroscopique du sang.* — Si l'hématoscope chargé de sang pur est placé devant la fente d'un simple spectroscope à vision directe, en le faisant mouvoir lentement de gauche à droite, on constatera successivement l'apparition des *deux bandes d'absorption caractéristiques de l'oxyhémoglobine,* puis leur élargissement et enfin leur *réunion ou confusion,* en même temps que la disparition de l'espace jaune vert qui les séparait; en d'autres termes, on observe le sang sous des épaisseurs variant de zéro à $\frac{300}{1000}$ de millimètre; par conséquent, c'est à peu près comme si l'on examinait des dilutions de sang graduées de $\frac{1}{60}$ à 1 ou 0,016 à 1.

Toute modification de la matière colorante est facilement étudiée : le mélange d'oxyhémoglobine et d'hémoglobine réduite, la présence de la méthémoglobine, de l'hémoglobine oxycarbonée (¹) et en définitive tous les dérivés de l'hémoglobine pré-

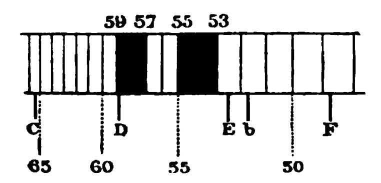
(¹) *Voir* à ce sujet les *Comptes rendus de la Société de Biologie*, n° 18 (séance du 7 mai 1887).

sentent dans l'hématoscope leurs réactions spectrales caractéristiques.

L'hématoscope peut servir, non seulement à l'analyse spectroscopique qualitative du sang, mais aussi au dosage de l'oxyhémoglobine.

*a. Principe de la méthode.* — Lorsqu'on examine avec le spectroscope le sang dans l'hématoscope, on perçoit à une certaine épaisseur un aspect caractéristique des deux bandes de l'oxyhémoglobine, que j'ai désigné sous le nom de *phénomène des deux bandes également obscures* et qui peut être formulé ainsi qu'il suit.

Fig. 3.




Le sang contenant 14 pour 100 d'oxyhémoglobine, examiné à la lumière solaire sous une épaisseur de $\frac{70}{1000}$ de millimètre avec un spectroscope à vision directe, à une distance ne dépassant pas $1^{mm}$, présente les deux bandes caractéristiques de l'oxyhémoglobine avec une teinte noire également obscure. Celles-ci ont une étendue égale dans le spectre, si on les mesure en longueurs d'onde $\lambda$. Elles occupent les plages entre 570 et 590 millionimètres (pour la bande $\alpha$) et 550 à 530 millionimètres (pour la bande $\beta$).

La figure suivante démontre le phénomène des deux bandes également obscures, représenté sur l'échelle en longueurs d'onde que j'ai adoptée et qui correspond à celle de Abbe.

Il est facile de comprendre que le phénomène des deux bandes également obscures étant pris pour type se produit sous des épaisseurs différentes, suivant que le sang contient plus ou moins d'oxyhémoglobine, et que le sang étudié dans l'hématoscope présentera les « deux bandes égales » à une épaisseur d'autant plus grande qu'il sera plus pauvre en oxyhémoglobine, ainsi qu'on l'observe chez les anémiques.

*b. Dosage de l'oxyhémoglobine.* — Le procédé le plus simple consiste à se servir d'un spectroscope à vision directe, tel que le construit M. Lutz. L'hématoscope rempli de sang est tenu de la main gauche et présenté verticalement à la lumière solaire; on vise avec le spectroscope, tenu de la main droite et appliqué sur le verre, la couche sanguine près du zéro, et l'on glisse peu à peu l'instrument vers la division 60; des mouvements alternatifs à droite et à gauche permettent de préciser la division à laquelle on aperçoit le *phénomène des deux bandes également obscures.* L'échelle gravée sur l'hématoscope indiquera à quelle division correspond la fente du spectroscope, à condition de noter la division millimétrique qui représente la tangente verticale au disque supportant la fente, du côté gauche, et ajoutant le nombre 8 comme représentant la distance du *bord gauche du spectroscope* à la partie *visée* par la fente. (Cette addition représente la distance du bord gauche du disque à la fente plus une correction légère dépendante du prisme et facile à établir; elle est d'ailleurs de $8^{mm}$ dans les spectroscopes à vision directe de M. Lutz; et dans les hématospectroscopes de grand modèle, je la détermine pour chaque instrument.)

*c. Échelle de concordance.* — Je l'ai établie à l'aide d'un millier d'observations cliniques, et de l'étude comparative de la quantité de fer contenue dans le sang de l'homme et de divers animaux; je l'ai vérifiée par des recherches contradictoires avec le sang pur ou défibriné ou étendu de sérum, et enfin avec des solutions d'oxyhémoglobine.

L'échelle donne la quantité d'oxyhémoglobine correspondant à la distance millimétrique à laquelle on observe les deux bandes égales.

Par exemple, si le sang montre les deux bandes égales à $14^{mm}$, soit $\frac{70}{1000}$ de millimètre d'épaisseur, la quantité d'oxyhémoglobine est de 14 pour 100; à la distance de $19^{mm}$ elle est de 10 pour 100, à $24^{mm}$, de 8 pour 100; à $49^{mm}$, de 4 pour 100; au delà de $3^{mm},5$, de 32 pour 100.

Le dosage de l'oxyhémoglobine est donc, par ce procédé, basé sur une constatation photométrique qui est définie par la mesure

métrique de l'épaisseur du sang qui correspond à cette observation.

III. *Hématospectroscopes.* — Pour faciliter l'étude du sang dans l'hématoscope, j'ai fait construire par M. Lutz plusieurs appareils dont je présente les trois principaux.

*d.* Le premier, ou hématospectroscope n° 1, est essentiellement

Fig. 4. (Modèle de l'étudiant.)

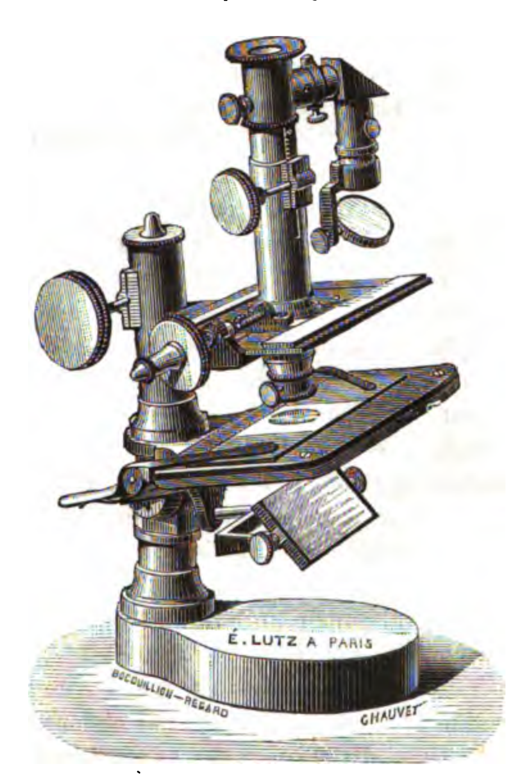



composé d'un spectroscope à vision directe et d'un support sur lequel celui-ci peut être fixé de façon à recevoir la lumière transmise par un miroir à travers l'hématoscope. Le support analogue à celui du microscope simple se compose d'une colonne verticale fixée sur un solide pied de laiton ; à cette tige verticale s'attache une platine noircie, ouverte à son centre et recevant la plaque hématoscopique ; et au-dessous de celle-ci est fixé un miroir concave auquel deux articulations en genou permettent les positions nécessaires. La colonne verticale se termine par un collier articulé dans lequel le spectroscope s'engage et peut être fixé en position verticale, horizontale et oblique. Cette disposition rend ce petit

appareil applicable aux études spectroscopiques les plus variées, et je le désignerai volontiers sous le nom de *modèle de l'étudiant* (*fig.* 4).

*e*. **L'hématospectroscope n° 2, ou grand modèle, est disposé pour les recherches les plus précises et pour les démonstrations : c'est un instrument de laboratoire et d'enseignement** (*fig.* 5).

Fig. 5. — Hématospectroscope (grand modèle).




Il est constitué par une partie optique (spectroscope à vision directe et à échelle spectrométrique) et par une monture formée de deux colonnes articulées, l'une supportant le spectroscope, les platines et le miroir, l'autre servant de manche pour saisir l'instrument, ou de pied pour le maintenir en position fixe.

La partie optique consiste en un spectroscope à vision directe.

Il est muni d'une échelle spectrométrique disposée dans un tube latéral, parallèle au spectroscope; l'image de l'échelle est projetée au moyen d'un prisme renfermé dans ce tube latéral; l'éclairage est obtenu par un petit miroir fixé au-dessous de ce tube; en outre, deux vis latérales permettent de mettre l'échelle au point par des déplacements légers de l'un ou de l'autre prisme.

La mise au point du spectroscope est effectuée à l'aide d'une vis à crémaillère micrométrique. Ce spectroscope à vision directe est vissé sur la platine supérieure et ainsi rattaché à la monture.

La tige de soutien est articulée avec le manche et le pied, de façon à pouvoir être verticale, horizontale ou oblique; elle supporte un plateau supérieur, une platine et un miroir.

La platine ressemble à celle des microscopes : elle est destinée à supporter les cuvettes ou prismes renfermant les liquides à examiner, et deux pinces-chevalets servent à fixer l'hématoscope. Elle est ouverte dans sa partie médiane, de façon à laisser passer les rayons lumineux d'un miroir situé au-dessous et articulé pour recevoir la lumière solaire directe ou diffuse.

Le plateau supérieur est formé de deux plaques de laiton superposées et glissant l'une sur l'autre; la supérieure porte le spectroscope et elle est mobile sur l'inférieure au moyen d'une vis sans fin à tige horizontale et maniée par un bouton qui permet de mouvoir le spectroscope dans le sens latéral et alternativement de droite à gauche ou de gauche à droite; un vernier donne la mesure de ces mouvements en fractions de millimètre. Ce plateau peut être rapproché ou éloigné de la platine, au moyen d'une large vis à crémaillère, pour rendre facile l'application directe de la fente spectroscopique sur l'hématoscope.

Cette disposition du plateau supérieur à mouvements alternatifs latéraux favorise la détermination exacte des phénomènes spectroscopiques de l'examen du sang et des corps liquides ou solides présentant des bandes d'absorption, et elle mérite d'être signalée pour les études pétrographiques, parce qu'elle permet de déterminer exactement la position de la fente spectroscopique, et la partie de la préparation soumise à l'observation.

*f. Hématospectroscope double à fente unique.* — Cet instrument, construit d'après mes indications par notre collègue M. Lutz,

réalise un progrès important en technique spectroscopique, puisqu'il est disposé de façon que deux personnes puissent observer en même temps le même phénomène spectroscopique et se


Fig. 6. — Hématospectroscope double à fente unique.



contrôler réciproquement. Il est destiné spécialement à l'analyse du sang avec mon hématoscope et à l'examen du phénomène de réduction de l'oxyhémoglobine dans le sang à travers l'ongle du pouce. Il se compose d'une partie optique et d'un support. La partie optique est constituée par deux petits spectroscopes à vision directe n'ayant qu'une fente commune. Chacun d'eux est formé

d'un tube interne renfermant trois prismes associés et surmonté d'une lentille oculaire; ce tube glisse à frottement doux dans un tube extérieur qui est soudé à un tambour (*fig.* 6).

Le tambour sur sa face supérieure supporte les deux tubes ou branches du spectroscope écartées en forme de V; et sur sa face inférieure est fixée la fente unique, qui peut être réglée au moyen d'une vis micrométrique.

Le support consiste en un plateau de cuivre reposant sur un pied à coulisse, et le spectroscope double est fixé sur le plateau au moyen d'une colonne articulée terminée par un collier à vis dans lequel est introduite l'une des branches du spectroscope. L'articulation de la colonne de soutien qui vient d'être perfectionnée par la substitution d'une articulation en genou, puis la mobilité du plateau dans le plan horizontal, permettent d'exécuter facilement tous les mouvements.

IV. *Évaluation de la durée de la réduction de l'oxyhémoglobine.* — On la détermine par l'examen spectroscopique du sang à travers l'ongle du pouce. En effet, avec le spectroscope à vision directe, on voit à travers cet ongle la première bande caractéristique de l'oxyhémoglobine et quelquefois la seconde. Si l'on fait une ligature autour de la phalange, les bandes disparaissent peu à peu; on voit d'abord réapparaître le jaune au niveau de la raie D qui était cachée (ce que j'appelle *moment du virage*); puis les bandes s'effacent complètement. La *durée de la réduction* est le temps qui s'écoule à partir de l'application de la ligature jusqu'à la disparition complète des bandes caractéristiques de l'oxyhémoglobine.

La ligature isole dans le pouce une certaine quantité de sang oxygéné qui, pendant quelque temps, montre les bandes de l'oxyhémoglobine; celle-ci abandonne son oxygène aux tissus, elle est réduite et ne présente plus de bande d'absorption assez intense pour être perçue à travers l'ongle.

La durée de la réduction varie entre vingt-cinq et cent dix secondes, la moyenne est de soixante secondes dans l'état de santé et de repos; elle est en rapport avec la quantité d'oxyhémoglobine et avec la rapidité des échanges entre le sang et les tissus.

V. *Mesure de l'activité de la réduction.* — J'ai déterminé l'unité d'activité de la réduction, de la manière suivante. L'expérience m'ayant montré que, chez l'homme vigoureux et sain, dont le sang contient 14 pour 100 d'oxyhémoglobine, la durée de réduction moyenne est de soixante-dix secondes, j'en ai déduit que la quantité d'oxyhémoglobine réduite en une seconde est de 0,20 pour 100. Cette quantité est prise pour unité d'activité de réduction, et la formule suivante permet de calculer l'activité correspondant à des durées de réduction et à des quantités d'oxyhémoglobine déterminées par mes procédés.

$$\text{L'activité de réduction ou } \varepsilon = \frac{\text{quantité d'oxyhémoglobine}}{\text{durée de réduction}} \times 5.$$

J'ai étudié, sur près de trois cents individus, avec plus d'un millier d'observations, les variations de l'activité de réduction, à l'état physiologique et sous l'influence des médications et des agents thérapeutiques ou toxiques.

---

## SÉANCE DU 1^er AVRIL 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Bourrut-Duvivier, Professeur à l'École de Marine, à Brest.
Brieu (Georges), Professeur à l'École Normale de Périgueux.
Nogué (Émile), attaché à la maison Pellin-J. Duboscq.
Létang (Paul), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

A propos de la Communication faite par M. Leduc, M. Potier fait observer qu'il n'y a aucune raison de considérer le magnétisme de l'électro-aimant comme une fonction de l'intensité du courant qui circule dans le fil pendant la période variable, tandis que cette dernière est, au contraire, déterminée principalement par les variations du magnétisme du fer; de sorte qu'au bout d'un temps excessivement court le courant serait le même, en l'absence de force électromotrice extérieure, dans le circuit qui a excité l'électro-aimant ou dans un circuit identique secondaire. Les courants induits dans le fer paraissent jouer le rôle principal dans la désaimantation et, bien qu'ils ne soient pas la seule cause du retard de cette

désaimantation, un essai de théorie ne peut les négliger. Leur action est facile à déterminer dans le cas d'un électro-aimant cylindrique indéfini; on trouve alors que la fonction du temps qui représente le courant doit se composer d'une somme d'exponentielles décroissantes du temps, les exposants étant de la forme $-\alpha t$, les quantités $\alpha$ étant l'une le terme $\frac{R}{L}$ propre au fil, et les autres $(4a^2 C\mu)^{-1} \times m$, où $a$ est le rayon du noyau de fer, C sa conductibilité spécifique, $\mu$ sa perméabilité magnétique, et $m$ un des nombres de la série 0,765, 1,757, 2,754, ..., racines d'une équation transcendante connue.

Des formules analogues s'appliquent au cas de l'aimantation et, bien qu'on ait supposé $\mu$ constant, rendent compte de l'allure générale des phénomènes.

M. Émile Reynier donne la description de la grande batterie secondaire qu'il vient de construire à l'Hôtel de Ville de Paris, par ordre du regretté Bartet.

Cette batterie pèse $11^{\text{T}}$ et contient $4500^{\text{lit}}$ de liquide. Elle comprend 165 grands couples Planté, de $0^{\text{m}},26$ de diamètre et $0^{\text{m}},80$ de hauteur. Chacun de ces couples peut débiter un courant de $240^{\text{amp}}$, avec une chute de potentiel de $1^{\text{volt}},9$. La puissance de l'ensemble est donc d'environ $80000^{\text{watts}}$, soit un peu plus de $100^{\text{chx}}$.

La surface active des couples est $480^{\text{dmq}}$; leur résistance intérieure est $0^{\text{ohm}},0005$; leur capacité, après formation complète, pourra atteindre un million de coulombs.

La batterie a pour fonction de régulariser, et de prolonger en cas d'accident survenu aux machines, la lumière de 2200 lampes Edison. L'auteur pense que des voltamètres *zinc-plomb* auraient une efficacité plus complète comme régulateurs de courant; par contre, les couples Planté sont plus aptes à acquérir une grande capacité électro-chimique et à fonctionner comme accumulateurs proprement dits.

En vue de certaines expériences, la puissance de $100^{\text{chx}}$ électriques pourrait être rendue disponible sous des régimes variés, depuis le potentiel maximum de $330^{\text{volts}}$ avec le débit normal de $240^{\text{amp}}$, jusqu'au potentiel minimum de $1^{\text{volt}},9$ avec un débit de *quarante mille ampères*.

M. Reynier termine en remerciant M. Gaston Planté, qui a bien voulu l'aider de ses conseils dans l'exécution de cette batterie, de dimensions jusqu'alors inusitées.

M. Paul Rousseau présente une balance de précision à très court fléau et à pesées rapides, possédant une disposition nouvelle, dont MM. Gouche et Maurice de Thierry sont les auteurs, et dont le brevet est sa propriété.

Cette disposition permet de faire les pesées les plus précises presque instantanément; les oscillations sont très vives, la sensibilité est extrême et reste la même avec le maximum de charge, ce qui n'a pas lieu avec tous les

autres systèmes. Cette balance, construite à Paris par M. Rousseau, peut lutter avantageusement avec les balances allemandes.

L'organe principal et particulier du modèle présenté consiste en un couteau placé en prolongement du couteau central et dont l'arête est tournée vers le haut et légèrement au-dessus de celle du couteau médian. Sur ce couteau, et porté par un plan d'agate, repose un étrier auquel est suspendu, par un fil, un poids désigné sous le nom de *poids de sensibilité*.

Le tranchant du couteau qui porte ce poids étant, comme il vient d'être dit, placé un peu au-dessus de celui du couteau central, le poids de sensibilité tend à accentuer le mouvement du fléau dès que celui-ci commence à s'incliner. On peut rendre cette action évidente, en retirant ce poids; on voit ainsi que la balance accuse à peine une charge de $2^{mgr}$ alors que sous cette même charge, et avec le poids de sensibilité, le fléau devient presque fou.

On peut donner à cette balance, au moyen de sa disposition particulière, toute la sensibilité désirable, même voisine de la folie; pour cela, quand les bras du fléau ont été mis de même longueur, on place dans les plateaux la charge maxima et on règle la sensibilité en abaissant les petites masses placées au-dessus du couteau central.

Cette disposition permet encore de conserver ces balances sensibles beaucoup plus longtemps que toutes les autres balances de précision; en effet, dans ces dernières, dès que les couteaux sont un peu émoussés, ce qui amène forcément l'abaissement du centre de gravité, toute précision disparaît.

Ce système peut s'appliquer à toutes les balances.

M. Laurent présente un modèle de saccharimètre, *modifié* pour la projection. Il rappelle qu'il construit deux types de saccharimètres: l'un *à rotation*, avec la lumière *monochromatique;* l'autre *à compensation,* avec la *lumière blanche;* tous les deux sont d'ailleurs *à pénombres*.

Il serait intéressant de pouvoir en faire la projection. La plus grande difficulté est le peu de lumière qui sort de ces appareils; on agit en effet *près* de l'extinction totale; de plus, les diaphragmes sont petits, ils n'ont que $8^{mm}$. M. Laurent a pensé qu'il pourrait néanmoins obtenir un bon résultat en projection avec la lumière électrique, très répandue aujourd'hui.

Au moyen d'une coupe longitudinale de l'appareil, il explique sur le tableau la marche des rayons dans la nouvelle disposition. L'oculaire concave est remplacé par un objectif qui donne sur un écran *blanc* l'image de la lame *demi-onde* (telle qu'on la voit habituellement); au-dessus, se projettent les divisions de la règle et du vernier; elles sont tracées sur glaces et éclairées par le point lumineux; il y a un objectif et un verre de champ.

M. Laurent adresse de vifs remerciements à M. Pellin, qui a bien voulu se charger de la lumière électrique, et procède aux expériences de projection.

En tournant le bouton du compensateur à droite et à gauche, on voit successivement le demi-disque gauche ou droit devenir plus foncé; au zéro, il y a *égalité* de tons. En faisant varier l'angle des deux sections principales, on voit que l'image est plus ou moins éclairée. En ôtant le bichromate, on constate que le côté correspondant à la lame est bleu; si l'on remet le bichromate, il est noir. On interpose un quartz type de $1^{mm}$, les deux demi-disques deviennent plus éclairés; en agissant sur le compensateur, on rétablit l'égalité de tons et l'index marque 100.

M. Laurent appelle l'attention de la Société sur deux points très importants en pratique.

1° Les deux demi-disques sont *uniformément* éclairés dans tout le champ: or cela n'arrive pas dans les appareils *à prisme coupé;* le *défaut* tient à la forme même de ce prisme et on ne peut le faire disparaître. Il n'existe pas dans les appareils à lame demi-onde.

2° Dans un système à pénombres *quelconque,* on n'obtient pas la *même couleur* pour les deux demi-disques, et, surtout si l'on opère loin du zéro, *on ne peut pas l'obtenir;* cela tient à la flamme qui n'est pas rigoureusement monochromatique, même avec l'interposition du bichromate. Il fait bien remarquer que, dans son modèle à compensateur (qu'il a déjà présenté à la Société, il y a cinq ans), ce défaut n'existe pas. On a bien *égalité de couleurs* et *égalité d'éclairement.*

M. Laurent démontre aussi l'avantage de son *grand* modèle (tubes de $0^m,50$) sur le petit modèle (tubes de $0^m,20$). Le rapport de l'image (vue dans un instrument) au diaphragme portant la lame est deux fois plus petit dans le grand modèle, de sorte que la netteté est quatre fois aussi grande dans le grand modèle. On ne gagnerait plus rien en augmentant la longueur de l'instrument, au contraire.

On peut aussi faire la projection sur un *verre dépoli* très fin; on regarde alors de l'autre côté : la quantité de lumière transmise est notablement plus grande; on peut alors non seulement faire de la démonstration, mais aussi des *mesures,* et arriver à une précision de $\frac{1}{1000}$ à $\frac{2}{1000}$ (presque comme dans l'observation individuelle. Au moyen d'une disposition de deux miroirs fixés à 90° et à $1^m$ de l'écran, deux personnes, placées en face l'une de l'autre et regardant perpendiculairement à l'axe de l'appareil, peuvent observer en même temps (les images sont de même sens pour chacune). Une disposition mécanique simple permet alors de manœuvrer, à distance, le compensateur.

M. S.-P. Thompson expose à la Société les modifications qu'il a fait subir au prisme de Nicol dans le double but d'économiser la matière du prisme et d'augmenter l'étendue du champ.

*Saccharimètre de projection;* par M. Léon Laurent.

Les saccharimètres que je construis se divisent en deux types; tous les deux sont à *pénombres :*

1° Saccharimètre ou *polarimètre* à *rotation :* il exige l'emploi de la lumière monochromatique salée;

2° Saccharimètre à *compensation :* il est plus spécial pour le sucre; on emploie la lumière blanche ordinaire.

Tous ces appareils s'emploient pour l'observation individuelle. Il serait cependant intéressant de les employer aussi pour la projection, mais les difficultés sont grandes; la principale résulte du peu de lumière qui sort de ces appareils : on agit, en effet, près de l'extinction totale; de plus, les images sont très petites, car on est obligé d'avoir des diaphragmes de petit diamètre (ils sont de $8^{mm}$) à cause des quartz, des nicols, des tubes, etc.

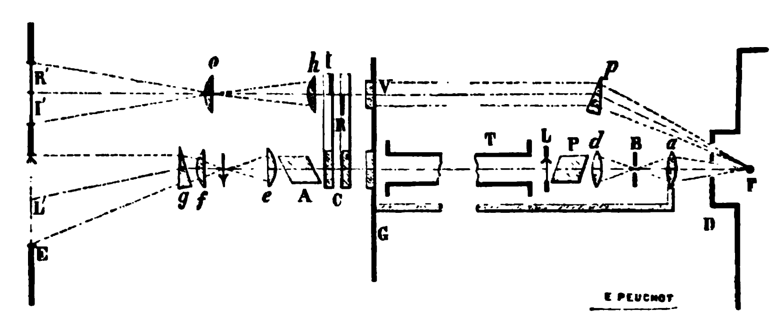
Aussi, la projection du saccharimètre à rotation, éclairé par la lumière monochromatique, ne donnerait-elle aucun résultat; mais avec le saccharimètre à compensation, on peut employer la lumière électrique et, comme cette lumière est aujourd'hui très répandue, et facilement obtenue dans les grands établissements scientifiques, j'ai pensé qu'avec quelques dispositions spéciales on pourrait obtenir des projections suffisantes.

La *fig.* 1 représente une coupe verticale de l'appareil placé en expérience, et suivant un plan perpendiculaire à l'écran; les dimensions longitudinales sont très raccourcies.

On peut projeter sur l'écran *blanc* E, à la manière ordinaire, et faire la démonstration de toutes les particularités du saccharimètre : montrer, par exemple, l'égalité de tons, la variation de l'angle des sections principales, l'influence du bichromate, l'interposition du sucre, de la plaque de *quartz* type de $1^{mm}$, etc. On voit simultanément la projection de l'image polarisée et celle des divisions.

On peut aussi faire la projection sur un *verre dépoli* très fin, on regarde alors de l'autre côté; la quantité de lumière transmise

est notablement plus grande; on peut alors non seulement faire de la démonstration, mais aussi des *mesures*, et arriver à une




NOTICE EXPLICATIVE.

*Appareil proprement dit.*

F, point lumineux donné par les charbons du régulateur.
D, diaphragme, monté sur la lanterne de projection (sans lentilles).
*a*, lentilles de champ, donnant en B un foyer réel de F.
B, diaphragme portant le bichromate de potasse, c'est le foyer conjugué de la surface de l'objectif *e*.
*d*, lentille rendant les rayons parallèles dans le tube T.
P, polariseur Foucault.
L, lame demi-onde.
T, tube pour les liqueurs sucrées.
G, cadran supportant le condensateur C.
C, compensateur Soleil, *modifié*.
A, nicol analyseur.
*e*, ancien objectif des appareils ordinaires; il donne une image réelle de L entre *l* et *f*.
*f*, nouvel objectif (remplaçant l'ancien oculaire concave); il donne sur l'écran une image réelle L' de L.
*g*, prisme faible, servant à empêcher l'image L' d'empiéter sur l'image des divisions R', I'.

*Projection des divisions.*

*p*, prisme empruntant la lumière de F et la renvoyant sur I et R.
V, verre orangé, pour diminuer l'éclat de l'éclairement des divisions I et R.
R, règle du compensateur; les divisions sont faites sur verre.
I, index, avec divisions faites sur verre.
*h*, lentille de champ, concentrant les rayons lumineux sur O.
O, objectif servant à projeter les divisions sur l'écran en R', I'.

précision de $\frac{1}{1000}$ à $\frac{2}{1000}$ (presque comme dans l'observation individuelle); seulement le phénomène n'est visible en même temps que pour un plus petit nombre d'observateurs.

Au moyen d'une disposition de deux miroirs formant entre eux un angle de 90° et situés à $1^m$ de l'écran, deux personnes, placées en face l'une de l'autre et regardant perpendiculairement à l'axe de l'appareil, peuvent observer en même temps (les images sont de même sens pour chacune); ce peut être le cas d'un professeur et d'un élève ou de deux experts, etc.

Une disposition mécanique simple, consistant en un bouton sur tige, qu'on place à portée de la main, permet, dans ce cas, de commander, *à distance,* le bouton du compensateur au moyen d'une corde sans fin.

J'appellerai l'attention sur deux points très importants en pratique et relatifs aux appareils pour l'observation individuelle.

1° Les deux demi-disques sont *uniformément* éclairés dans tout le champ; or cela n'arrive pas dans les appareils à *prisme coupé;* le défaut tient à la forme même de ce prisme et l'on ne peut le faire disparaître. Il n'existe pas dans les appareils à lame demi-onde.

2° Dans un système à pénombres *quelconque,* on n'obtient pas la *même couleur* pour les deux demi-disques, surtout si l'on opère avec une flamme intense et loin du zéro; *on ne peut pas l'obtenir.* Cela tient à la flamme qui n'est pas rigoureusement monochromatique, même avec l'interposition du bichromate. Ce défaut n'existe pas dans mon modèle à compensateur [1] où l'on a bien : *égalité de couleurs* et *égalité d'éclairement.*

Le saccharimètre *grand* modèle (pour tubes de $0^m,50$) a aussi un avantage important sur le petit modèle (pour tubes de $0^m,20$). Le rapport de l'image (vue dans l'instrument) au diaphragme portant la lame est deux fois plus petit dans le grand modèle, de sorte que la netteté est quatre fois aussi grande dans le grand modèle que dans le petit. On ne gagnerait plus rien en augmentant la longueur de l'instrument, au contraire.

---

[1] *Journal de Physique*, 2e série, t. I, p. 552.

## *Sur quelques nouveaux prismes polarisants;*
par M. S.-P. Thompson.

Il y a trois ans que, à la séance tenue par la Société de Physique à l'observatoire de Paris, j'ai eu l'honneur de mettre sous ses yeux quelques nouveaux prismes polarisants présentant, dans leur construction, les particularités suivantes :

1° La couche de baume de Canada est dans une section principale et fait un angle de 19° environ avec les faces terminales.

2° L'axe visuel du prisme fait un angle droit avec l'axe optique.

3° Les deux faces terminales du prisme, ainsi que deux des faces longitudinales, sont des plans principaux, les deux autres faces longitudinales étant perpendiculaires à l'axe optique et cristallographique. Dans quelques-uns de ces prismes, les faces terminales sont perpendiculaires à l'axe de vision et la forme extérieure du prisme est celle d'un parallélépipède rectangle; dans quelques autres, les faces terminales sont obliques. Les avantages que présentent ces formes nouvelles sur les anciennes sont les suivants :

*a.* Une plus grande étendue du champ de polarisation complète;

*b.* Suppression de la bande colorée bleue à la limite du champ;

*c.* Distorsion des images rendue minimum;

*d.* Direction du plan de polarisation dans les diverses parties du champ, maintenue plus exactement parallèle à celle du plan de polarisation au centre; par suite, une extinction plus complète de la lumière quand deux prismes sont placés à angle droit;

*e.* Déplacement de l'image rendue minimum pendant la rotation du prisme (remarque faite par M. Glazebrook);

*f.* Perte de lumière par réflexion sur les surfaces terminales rendue minimum.

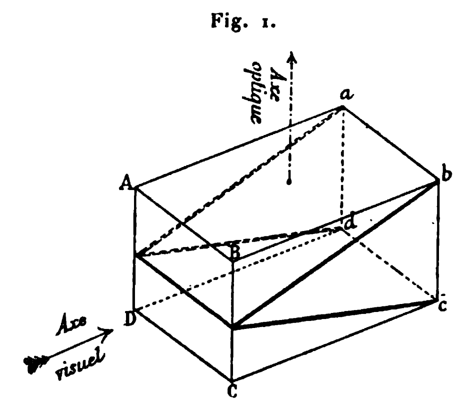
Par contre, les désavantages de ces formes étaient leur prix élevé, dû à la perte inévitable de matière qu'elles entraînent. A la même séance, j'avais présenté, sous le nom de *nicols renversés,* quelques autres prismes dans lesquels, tout en laissant au prisme la forme extérieure des nicols ordinaires, j'obtenais quelques-uns

des avantages précédents, en particulier, l'accroissement du champ de polarisation; j'arrivais à ce résultat en renversant simplement l'obliquité des faces terminales de manière que les deux faces terminales obliques sur le morceau de spath non encore coupé, au lieu de faire avec l'axe cristallographique un angle de 45°, fissent seulement un angle de 100°, et que la couche de baume fût presque perpendiculaire à l'axe cristallographique.

En juin 1886, dans le *Philosophical Magazine* (¹), j'ai décrit deux nouvelles modifications, l'une sous le nom de *prisme de Nicol renversé de petite longueur*; l'autre, due à M. C.-D. Ahrens, sous le nom de *prisme à trois pièces*.

Le prisme à trois pièces d'Ahrens, construit en 1886, avait la forme représentée dans la *fig.* 1. Il consiste en un bloc rectangu-

Fig. 1.

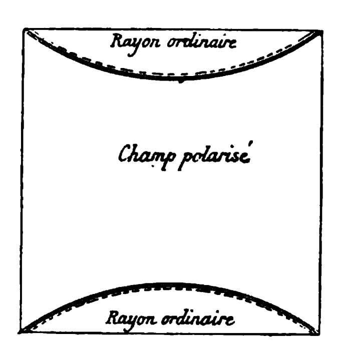



laire de spath dont les deux faces terminales ABCD et *abcd* sont des sections principales, ainsi que les deux faces longitudinales B*bc*C et A*ad*D, les deux autres faces longitudinales étant perpendiculaires à l'axe cristallographique : le bloc est divisé par deux plans obliques ayant leurs lignes d'intersection mutuelles sur l'une des faces terminales et passant par les arêtes *ab* et *dc* de la face opposée. L'angle dièdre compris entre les deux plans est d'environ 30°; le bloc est ainsi divisé en trois parties qui, après avoir été polies, sont réunies à la manière ordinaire avec du baume de Canada.

(¹) *Philosophical Magazine*, juin 1886, p. 477.

Le champ polarisé qu'on observe, en regardant par les faces terminales, est terminé, comme l'indique la *fig.* 2, par deux bandes correspondant aux régions où pénètre le rayon ordinaire et est séparé du champ par des bandes d'interférences à coloration rouge.

Fig. 2.




L'étendue du champ utile dans sa partie la plus étroite est d'environ 28°. Dans le sens perpendiculaire, il s'étend à plus de 100° sans pénétration ni à droite ni à gauche d'aucun rayon ordinaire; il n'y a aucune trace de bande bleue : la distorsion et le déplacement des images sont réduits au minimum.

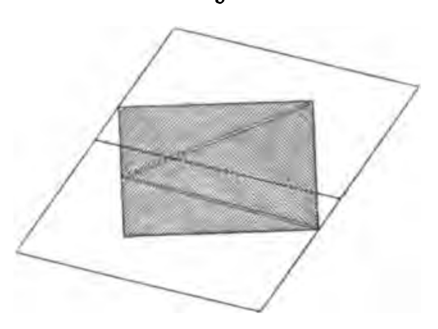
La position du bloc dans le cristal primitif de spath est représenté dans la *fig.* 3. On voit que cette forme exige un morceau de spath de dimensions considérables par rapport aux dimensions du prisme qu'on en peut tirer. Quant à l'inconvénient résultant de ce que la ligne d'intersection tombe précisément sur la face terminale, elle n'a pas grande importance et l'on peut, du reste, l'annuler en pratique en couvrant cette face par une lame mince collée au baume de Canada; cette lame rend la ligne imperceptible et protège en même temps la face antérieure du prisme.

L'auteur a fait observer à M. Ahrens que, puisque l'étendue du champ polarisé utilisable dépend seulement des limites dans lesquelles pénètre le rayon ordinaire et que les propriétés des rayons ordinaires sont symétriques dans toutes les directions, les avantages de la combinaison triple seraient également atteints par toute disposition des deux plans de section qui conserveraient

entre eux le même angle avec leurs lignes d'intersection dans la face terminale, et il chargea M. Ahrens d'étudier un mode de section qui, tout en gardant les deux faces terminales comme plans principaux de section, entraînerait une moindre dépense de spath.

C'est à quoi est arrivé M. Ahrens en opérant de manière que chaque portion enlevée au cristal destinée au prisme triple puisse être employée à la construction d'autres prismes polarisants.

Fig. 3.



Il serait difficile d'expliquer en détail la méthode de M. Ahrens; elle revient en somme à trouver un plan caractéristique perpendiculaire aux faces terminales (lesquelles sont toujours des sections principales) et qui fassent un certain angle avec les plans de clivage. Cette méthode de M. Ahrens n'a pas seulement l'avantage que toutes les portions enlevées soient immédiatement utilisables, elle est, au point de vue pratique, d'une exécution plus facile, la direction des coupes par rapport au plan de clivage exposant moins aux ruptures accidentelles; on peut donc la considérer comme plus économique que toute autre méthode de coupe jusqu'ici connue.

Les prismes présentés à la Société sont :

1° Un triple prisme d'Ahrens, ayant des faces terminales de $20^{mmq}$;

2° Un triple prisme d'Ahrens ayant des faces terminales de $12^{mmq}$;

3° Deux prismes rectangulaires, chacun formé par les portions provenant de la coupe du premier prisme;

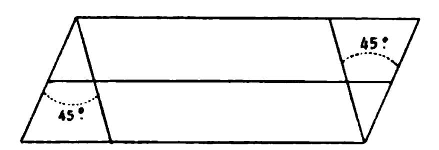
4° Un prisme triple Ahrens-Foucault dans lequel la lame de

baume est remplacée par une lame d'air. Le prisme central a un angle de 125° et le champ est de 8° environ;

5° Un modèle montrant l'orientation du plan caractéristique.

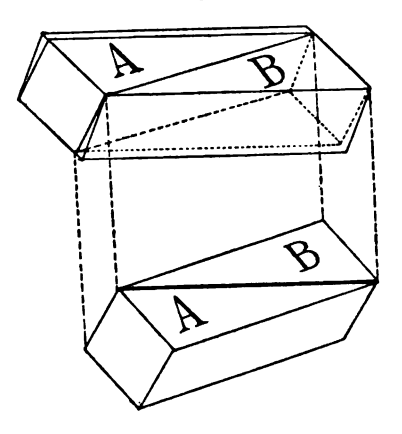
L'auteur a aussi indiqué un procédé analogue pour la construc-

Fig. 4.




tion de prismes formés de deux morceaux seulement et a trouvé que le même principe de renversement peut être appliqué à des prismes de cette espèce. Soit un cristal de dimensions convenables, pour un nicol ordinaire; on coupe les deux extrémités de manière que les faces terminales soient des sections

Fig. 5.




principales et on divise le morceau en deux parties suivant un plan caractéristique perpendiculaire aux faces terminales et passant à peu près par l'intersection de ces faces avec les faces naturelles de clivage. Les deux morceaux ainsi obtenus, après avoir été polis, sont renversés l'un par rapport à l'autre et réunis avec du baume de manière que le plan caractéristique forme les faces extérieures longitudinales du prisme. Un prisme ainsi constitué présente les

mêmes qualités que les prismes décrits antérieurement par l'auteur et est d'un prix moins élevé. Le prisme de cette espèce présenté à la Société est également construit par M. Ahrens; l'auteur propose de le caractériser par la formule *prisme* (RR), c'est-à-dire *prisme rectangulaire renversé*.

La *fig*. 4 montre le morceau naturel de spath et les deux sections donnant les faces terminales.

La *fig*. 5 montre en haut la division du prisme ainsi obtenu par le plan caractéristique en deux morceaux A et B et, en bas, la réunion de ces deux morceaux A et B accolés en sens inverse après avoir été usés et polis de manière à donner un prisme exactement rectangulaire.

---

## SÉANCE DU 6 MAI 1886.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er avril est lu et adopté.

M. le Président annonce à la Société la perte qu'elle a faite, depuis la dernière séance, de deux de ses membres les plus distingués, M. *Thollon*, attaché à l'observatoire de Nice, et M. *Gaiffe*, constructeur d'instruments à Paris.

« M. Thollon s'était fait connaître, dès ses débuts dans la Science, par la construction d'un spectroscope, devenu bien vite le plus parfait peut-être, certainement le plus puissant des instruments de même nature, et il s'était voué tout entier à la mise en œuvre de ce bel appareil. Appelé à l'observatoire de Nice aussitôt après la publication de ses premiers résultats, il eut le bonheur d'y pouvoir reconnaître la libéralité de M. Bischoffsheim par plusieurs observations intéressantes. On peut citer celles des lignes brillantes du sodium et du fer dans le spectre de la grande comète de 1881; et surtout la distinction, importante au point de vue d'un principe encore contesté de l'analyse spectrale, entre les lignes telluriques et les lignes propres de l'atmosphère solaire. Dans ces derniers temps, il avait entrepris la description exacte et minutieuse d'un spectre solaire, dont l'étendue ne devait pas mesurer moins de 15m de longueur. La cruelle maladie à laquelle il vient de succomber avait interrompu ses recherches depuis plusieurs mois : ses nombreux amis déplorent doublement une perte qui laisse inachevé un important travail.

» M. Gaiffe n'était pas seulement connu par les nombreux et intéressants



appareils qu'il a fournis à l'électricité médicale, et par l'introduction en France du procédé américain de nickelage qui alimente aujourd'hui une importante industrie. Tous les physiciens ont pu apprécier son inépuisable complaisance et son habileté dans la réalisation de leurs conceptions les plus délicates; l'une et l'autre avaient été justement récompensées dans les expositions universelles par les plus hautes distinctions.

» Le nom de M. Gaiffe, comme celui de M. Thollon, restera cher et honoré dans la mémoire de tous les amis de la Science. »

M. le Secrétaire général signale l'envoi des Notes suivantes :

1° M. Cavé : *Hypothèse nouvelle sur la cause des tremblements de terre.*

2° M. Delaurier : *Observations sur l'emploi des accumulateurs pour régulariser la lumière électrique.*

3° M. E. Lehman : *Hygromètre à torsion.*

M. Picou présente les transformateurs Zipernowsky, Deri et Blathy.

Ces appareils se composent en principe d'une bobine d'induction annulaire à circuit magnétique fermé.

Le noyau est formé de galettes superposées et isolées au papier. Chacune d'elles est constituée par une spirale de fer doux dont les circonvolutions sont isolées aussi au papier.

Sur ce noyau convenablement recouvert, on bobine à la main le fil primaire par sections distinctes et isolées. Ce fil est continu d'un bout à l'autre. Par-dessus est enroulé le fil secondaire. Celui-ci est dénudé et relié à une borne intermédiaire au milieu de sa longueur. On peut ainsi avoir à volonté $n$ volts et $2i$ ampères ou bien $2n$ volts et $i$ ampères, suivant qu'on utilise les deux moitiés du fil induit bout à bout ou en parallèle.

Les coefficients d'induction sont très élevés et se mesurent par des méthodes détournées. La connaissance du nombre exact des spires permet de calculer les coefficients en fonction de l'un d'eux.

On peut, par exemple, enrouler deux ou trois spires auxiliaires autour du transformateur, et les relier à un galvanomètre balistique. En comparant la décharge induite à celle que donne, dans le même galvanomètre, un condensateur de capacité connue, on obtient de suite le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits en expérience. Les autres s'en déduisent immédiatement.

On peut aussi mesurer un des coefficients de self-induction, en intercalant le circuit en expérience dans un pont de Wheatstone. On trouble l'équilibre par addition d'une résistance connue. Puis on le rétablit et l'on mesure l'impulsion de rupture.

Le rendement de l'appareil dépend de sa résistance intérieure et du travail dépensé à l'aimantation du fer. Les résistances des circuits peuvent

être réduites autant qu'on le veut. Pratiquement, on les réduit de telle sorte que $RI^2$ soit réduit à 1 pour 100 des watts disponibles.

Le travail d'aimantation est variable avec la qualité du fer, l'intensité des effets magnétiques et le nombre de périodes employé. Ce dernier ne dépasse pas 45 à 50 (90 à 100 renversements) dans le système Zipernowsky. La puissance ainsi consommée ne dépasse pas 210 watts sur un transformateur de 7500 watts disponibles, soit environ 3 pour 100. Le rendement de ce type est donc d'environ 95 pour 100.

Indépendamment de ses applications générales, le transformateur est susceptible de divers autres emplois. Les inventeurs s'en servent en particulier comme égalisateur de tension.

Un petit transformateur est monté à l'usine de production, par exemple, et son circuit primaire est parcouru par l'un des fils de la conduite principale. Il donne donc aux bornes du circuit secondaire une différence de potentiels moyenne proportionnelle au courant total. Le circuit secondaire se ferme sur une résistance; mais, en même temps, celle-ci est parcourue en sens inverse par une dérivation du courant principal qui se rend ensuite au transformateur proprement dit, le premier étant plus proprement l'égalisateur de tension. Le résultat de la combinaison est que les lampes éclairant l'usine ainsi que le voltmètre, qui sont montés sur le second transformateur, sont exactement au même potentiel que celles qui sont à l'autre extrémité de la ligne principale. Cela reste vrai, quelle que soit la perte et quel que soit le courant consommé, si tout a été convenablement calculé.

Ce système de transformation est en exploitation à Lucerne, Turin et Milan. Une grande usine est en montage à Rome, et des applications se préparent en France par les soins de la Compagnie continentale Edison.

M. Deslandres présente le résultat des recherches qu'il a entreprises au laboratoire de l'École Polytechnique sur la structure des spectres de bandes.

Ayant été appelé à répéter les expériences de M. Cornu sur les spectres des métaux, il fut très frappé par les résultats importants obtenus par ce savant, qui a reconnu, dans les spectres métalliques, l'existence de séries de raies semblables à la série de l'hydrogène. Il se proposa de chercher si les spectres des métalloïdes, ou, autrement dit, les spectres de bandes, offraient aussi une loi simple de distribution des raies et des bandes.

Dans ce but, il étudia les spectres ultraviolets des métalloïdes, qui n'avaient donné lieu encore à aucune publication. Il s'est servi des lentilles achromatiques en quartz et spath fluor construites par M. Cornu pour l'étude des spectres métalliques, et a employé successivement un prisme de flint, un prisme de quartz, un prisme de spath d'Islande, et en particulier un magnifique réseau Rowland, dont le sixième spectre a pu être photographié.

Au début du travail, il comprit la nécessité d'étudier à fond les gaz que

l'on rencontre toujours comme impuretés, à savoir : l'azote, l'oxygène, la vapeur d'eau et les hydrocarbures, qui offrent au moins dix spectres de bandes distincts. — En ajoutant des bandes spéciales du gaz de l'éclairage, les spectres du cyanogène et de la vapeur d'iode, il obtint treize spectres, qui furent comparés entre eux et examinés au point de vue de la répartition des raies et des bandes.

Les résultats sont les suivants : 1° certains spectres, dus à des corps composés ayant un corps simple commun, offrent la même disposition générale de bandes et ne diffèrent que par la composition des bandes homologues; ces bandes homologues sont formées par la superposition de séries de raies semblables, et l'on est ainsi conduit à rapporter ces séries à la formule chimique du corps composé; 2° si on laisse de côté les points communs offerts par les spectres dépendant d'un même corps simple, tous ces spectres, d'origines très diverses, ont en réalité une structure commune, qui est exprimée par la loi suivante : les raies d'une même bande, et aussi les bandes d'un même spectre, lorsqu'on représente les raies par les *nombres de vibrations*, peuvent être divisées en séries semblables; chaque série étant telle que les intervalles croissent en progression arithmétique.

D'après cette loi simple, on opère trois triages successifs parmi les raies d'un spectre de bandes, et l'on peut représenter la loi de distribution des raies par une fonction simple de trois paramètres, telle que deux paramètres au moins ont les valeurs des carrés des nombres entiers.

Ainsi, pour le deuxième groupe de l'azote, la formule est

$$f(n^2p^2) \times m^2 + \mathrm{B}n^2 - \sqrt{\mathrm{C}p^2 + \gamma},$$

$m$, $n$, $p$ étant des nombres entiers.

Or cette loi de distribution des raies est nettement analogue à la loi de distribution des sons d'un corps solide, qui vibre suivant ses trois dimensions. Cette dernière loi est en effet exprimée aussi par une fonction de trois paramètres $m^2$, $n^2$, $p^2$, qui correspondent aux trois dimensions de l'espace.

On est ainsi conduit (mais cela est une interprétation et non un résultat immédiat des faits), d'une part, à rapporter les trois classes de raies distinguées dans ces spectres aux trois dimensions de l'espace; d'autre part, à faire dépendre le nombre des séries arithmétiques des bandes de la formule chimique du corps composé qui les produit.

D'ailleurs, tous les spectres ne sont pas liés à une fonction de trois paramètres; ainsi, le spectre d'absorption de l'oxygène montre les variations de deux paramètres seulement, et le spectre de l'hydrogène, les variations d'un seul paramètre.

M. Lippmann montre des phénomènes dus à l'interférence stroboscopique de deux diapasons. Ces instruments sont munis de miroirs et vibrent parallèlement. Le premier projette sur une fente fixe A l'image nette de la fente lumineuse L de la lanterne; le second reprend l'image de la fente

$A_1$ et projette l'image nette de A sur un écran blanc. La netteté des images est obtenue à l'aide de deux lentilles convenablement disposées. Cela posé, si l'on met les deux diapasons en mouvement, on aperçoit sur l'écran *n* droites lumineuses parallèles, *n* étant le rapport de la durée d'une vibration double du second diapason à la durée d'une vibration simple du second. Si *n* est exactement un nombre entier, les *n* traits lumineux sont immobiles; si *n* est voisin d'un nombre entier, les *n* traits sont animés d'un mouvement lent, et l'apparence est la même que si l'on projetait sur l'écran *n* génératrices lumineuses équidistantes tracées sur la surface d'un cylindre qui serait soit immobile, soit animé d'un mouvement de rotation uniformément lent autour de son axe. La durée de cette rotation apparente est la même que celle de la rotation de la figure correspondante de Lissajous. M. Lippmann réalise l'expérience dans les cas où l'on obtient successivement une, deux, trois et quatre droites lumineuses.

Cette méthode s'applique à la comparaison des durées d'oscillation de deux pendules; l'expérience vérifie que, les pendules étant à peu près à l'unisson, on obtient deux traits lumineux lentement mobiles, qui se superposent aux moments où se produit une coïncidence. Cette méthode est bien plus sensible que celle de Borda.

---

*Méthode stroboscopique pour comparer les durées de vibration de deux diapasons ou les durées d'oscillation de deux pendules;* par M. Lippmann.

On peut comparer entre elles les durées de vibration de deux diapasons ou de deux pendules par un procédé très précis qui dérive de la méthode stroboscopique.

I. Soient d'abord à comparer deux diapasons D et I. On place le diapason D, muni d'un miroir, à quelque distance d'une fente d'optique A, de telle façon que les rayons émanés de A et réfléchis par le miroir viennent, après leur passage à travers une lentille, former une image nette de A sur un écran ou sur un micromètre oculaire divisé. D'autre part, la fente A, au lieu d'être constamment lumineuse, ne l'est que pendant des instants très courts, par éclairs. Pour produire ces éclairs, on se sert du deuxième diapason I; à cet effet, I est muni également d'un miroir, lequel projette sur A l'image nette d'une fente lumineuse L.

Les éclairs en A se produisent juste au moment où le diapason I passe par sa position d'équilibre. Ainsi, en appelant $y$

l'élongation variable de D, $y'$ l'élongation de I, on aperçoit sur l'écran, soit une, soit plusieurs lignes lumineuses dont la position par rapport aux divisions donne les valeurs de $y$ qui ont lieu pour les valeurs du temps qui annulent $y'$.

Soient T la durée d'une oscillation double de D, T' la durée d'une oscillation simple de I. Si l'on suppose d'abord que $T = T'$, on observe sur l'écran une ligne lumineuse unique et immobile. Si $T = nT'$ ($n$ étant un nombre entier), on observe sur l'écran $n$ lignes lumineuses immobiles. Si $T = \frac{n}{m} T'$ $\left(n \text{ et } m \text{ étant deux nombres entiers, et la fraction } \frac{n}{m} \text{ étant irréductible}\right)$, on observe encore sur l'écran $n$ lignes lumineuses immobiles.

Si le rapport $T : T'$, au lieu d'être égal aux nombres $n$ ou $\frac{n}{m}$, n'en diffère que d'une quantité très petite $\varepsilon$, le phénomène est encore le même; seulement chacune des lignes lumineuses, au lieu d'être immobile, se déplace lentement sur l'écran, et d'autant plus lentement que $\varepsilon$ est plus petit.

En mesurant la vitesse de ce déplacement, on obtient la vitesse avec laquelle varie la différence de phase entre les deux diapasons; par suite, on obtient très exactement la valeur du rapport $T : T'$.

La théorie du phénomène est évidente. Si la fente A était constamment lumineuse, son image $a$ fournie par le miroir de D serait constamment visible, et cette image $a$ aurait sur l'écran un mouvement d'oscillation rapide, trop rapide même pour être mesuré : ce mouvement serait le même que celui de la projection sur l'écran de la génératrice G d'un cylindre de révolution qui serait parallèle à l'écran, et qui tournerait autour de son axe d'un mouvement uniforme en accomplissant une révolution complète pendant le temps T. Mais la fente A n'étant éclairée que par instants, on n'aperçoit sur l'écran que des droites lumineuses $g_1$, $g_2$, ... qui sont les projections des positions $G_1$, $G_2$, ... qu'occupe la génératrice G à chaque éclair. Les intervalles de temps T' entre les éclairs étant égaux, les génératrices $G_1$, $G_2$, ... sont équidistantes. Donc les positions des lignes $g_1$, $g_2$, ... sont d'une manière générale les projections de génératrices équidistantes tracées sur un cylindre. Les pieds des génératrices $G_1$, $G_2$, ... (leurs points

de rencontre avec la circonférence de base du cylindre) sont donc toujours les sommets d'un polygone régulier inscrit.

Si $T' = \frac{1}{n} T$, chacun des arcs $G_1$, $G_2$ étant la $n^{\text{ième}}$ partie d'une circonférence, ce polygone est un polygone régulier *convexe* de $n$ côtés. Si $T' = \frac{m}{n} T$, ce polygone est un polygone *étoilé* de $n$ sommets. Dans l'un et l'autre cas, les $n$ génératrices, ou, pour mieux dire, leurs projections, apparaissent simultanément sur l'écran, grâce à la persistance des images sur la rétine, et l'aspect du phénomène est le même, que le polygone soit convexe ou étoilé. Sans cette persistance des images, on verrait que les droites $g_1$, $g_2$ apparaissent successivement, et dans le même ordre que les sommets du polygone correspondant.

Dans le cas où la fraction $\varepsilon$ intervient, la figure obtenue est animée d'un mouvement de rotation lent, dont la vitesse est la même que celle de la figure de Lissajous qu'on obtiendrait avec les mêmes diapasons, et pour les mêmes raisons.

Dans le cas particulier où les deux diapasons sont à l'unisson, on a $T = 2T'$. On aperçoit deux traits lumineux immobiles constamment symétriques par rapport au zéro de l'échelle. Ces deux traits prennent un mouvement lent d'oscillation lorsque l'intervalle est troublé. Leur symétrie subsiste dans ce cas, et ils passent simultanément par le zéro au moment d'une coïncidence, c'est-à-dire au moment exact où les deux diapasons passent simultanément par leur position d'équilibre.

J'ai observé encore le phénomène avec les intervalles acoustiques suivants : l'observation a été chaque fois conforme à la théorie.

| Diapason I. | Diapason D. | Nombre de traits lumineux observés. |
|---|---|---|
| $ut_1$ | $ut_2$ | 1 |
| $ut_1$ | $ut_1$ | 2 |
| $sol_1$ | $ut_1$ | 3 |
| $ut_2$ | $ut_1$ | 4 |

On a ici, en effet, successivement, $T' = T$, $T' = 2T$, $T' = 3T$ et $T' = 4T$.

**2.** Deux pendules se comportent comme deux diapasons qui

vibrent lentement. Deux pendules à secondes se comportent, en particulier, comme deux diapasons qui sont à l'unisson ou qui en sont très voisins.

On peut donc les comparer en les munissant de deux miroirs et en opérant comme avec les diapasons ([1]).

3. On doit pouvoir, par la même méthode, comparer la durée

---

([1]) M. Vogel compare deux pendules en faisant osciller l'un d'eux (D) devant une échelle divisée et en l'observant à travers une fente que le second pendule I ne découvre que par éclairs, juste au moment où ce pendule I passe par la verticale. M. Vogel mesure ainsi l'élongation $y$ du pendule D juste au moment où l'élongation $y'$ de I est égale à zéro : la méthode de M. Vogel est donc, en principe, la même que celle que j'ai décrite; il n'y a de différence que dans le dispositif. Mais je crois le dispositif que j'ai décrit susceptible d'une plus grande précision, et cela pour trois raisons : 1° je puis rendre les éclairs aussi courts que l'on voudra sans limiter le champ de la vision et sans altérer la netteté des images; 2° la méthode de la réflexion sur le miroir, qui est la méthode de Gauss, permet d'observer la déviation angulaire très exactement; 3° l'échelle divisée, sur laquelle se font les lectures, est visible constamment, tandis que chez M. Vogel elle n'apparaît, comme le pendule, que pendant des instants très courts.

D'autre part, M. Mercadier a fait, sur des diapasons vibrant parallèlement et dont les ombres sont projetées simultanément sur un écran, des expériences qui paraissent présenter avec les miennes une certaine analogie. Cette analogie n'est qu'apparente : les expériences de M. Mercadier sont différentes non seulement par leur dispositif, mais par leur théorie. Ce physicien obtient une série de lignes noires sur le tableau, mais les positions de ces lignes sont données par la condition que $y = y'$ et non par les valeurs que prend $y$ pour $y' = 0$; d'ailleurs, les expériences de M. Mercadier supposent essentiellement que les amplitudes maxima des deux diapasons soient égales; celles que j'ai décrites sont indépendantes du rapport des amplitudes maxima.

On peut encore constater la différence des deux méthodes en considérant un cas particulier : si les deux diapasons ont même période, même amplitude et même phase, ils se confondent en projection, et l'expérience de M. Mercadier ne donne plus aucune raie; avec la méthode que j'ai indiquée on observe une raie unique immobile au centre du champ, comme si les diapasons étaient eux-mêmes immobiles.

On peut d'ailleurs exprimer géométriquement la relation qui existe entre les figures obtenues par Lissajous, par M. Mercadier et par moi-même, en se servant des courbes de Lissajous. Supposons une de ces courbes tracées; les ordonnées à l'origine représentent les distances au centre du phénomène des droites que j'obtiens en prenant pour diapason interrupteur celui qui vibrerait suivant l'axe des $x$; si le diapason interrupteur est celui qui vibre parallèlement à l'axe des $y$, les distances en question sont données par les abscisses à l'origine de la courbe correspondante. Enfin, pour obtenir la position des raies obtenues par M. Mercadier, il faut tracer l'une des bissectrices de l'angle des axes, et projeter sur l'un des axes de coordonnées les segments interceptés sur cette bissectrice par les courbes de Lissajous.

de vibration d'un diapason à celle d'un pendule à secondes, à condition que le rapport de ces deux durées soit égal à $n + \varepsilon$, $n$ étant un nombre entier et $\varepsilon$ une petite fraction : l'observation du déplacement des lignes lumineuses permettrait de déterminer $\varepsilon$; mais je n'ai pas encore essayé l'expérience sous cette forme. Il ne serait pas sans intérêt de pouvoir comparer *directement*, par une méthode optique, un diapason avec un pendule à secondes.

---

## SÉANCE DU 20 MAI 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bovy, Ingénieur électricien à Bellegarde.
Carvallo, Professeur au Lycée de Versailles.
Desrozières, Ingénieur civil des Mines à Paris.
Dvôrak (Dr V.), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).
Grajon (A.), Docteur en Médecine à Vierzon.
Montaud (B. de), Ingénieur civil à Aubervilliers.
Don José de Robles, Ingénieur agronome à Madrid (Espagne).
Salcher (Dr P.), Professeur à l'Académie impériale de Fiume (Autriche-Hongrie).
Verrier (Gabriel), Ingénieur électricien, ancien élève de l'École Centrale et de l'École supérieure de Télégraphie à Paris.

A l'occasion de la Communication faite par M. Paul Rousseau de la balance de MM. Gauche et Maurice de Thierry, M. Deleuil adresse au Président une lettre dont il est donné lecture et où il cite quelques spécimens de balance à fléau court construits autrefois par lui, en particulier la balance de M. le baron Séguier pour le triage automatique des pièces de monnaie (1850). M. Gariel fait remarquer que MM. Gauche et Maurice de Thierry, en présentant cette balance, visaient plutôt l'*addition du poids dit de sensibilité* que l'emploi d'un fléau de faible longueur. Il déclare d'ailleurs ne comprendre ni la théorie ni le fonctionnement du *poids de sensibilité*.

M. H. Dufet communique à la Société les résultats d'une série de mesures effectuées sur les phosphates, arséniates et hypophosphates de soude. Il a mesuré pour chaque sel les constantes optiques et la densité.

Au point de vue du volume moléculaire, il trouve que, dans une série

de sels constitués des mêmes éléments, le volume moléculaire des composants, comme la soude, l'acide phosphorique et l'eau, dans la série des phosphates ordinaires et pyrophosphates, reste constant, tandis qu'il varie légèrement dans deux sels isomorphes. Le volume moléculaire de l'eau reste constant dans une même série, que ce soit de l'eau de constitution ou de cristallisation.

Pour les indices, on peut, dans une même série, appliquer avec une assez grande exactitude la loi de Gladstone à l'indice *médian*, moyenne des trois indices principaux du sel. L'énergie réfractive des éléments ainsi calculée reste constante dans chaque série, et varie légèrement en passant d'une série à l'autre. M. Dufet indique l'interprétation de ces faits dans l'hypothèse à laquelle conduit la loi de Gladstone, sur la constitution des corps réfringents qu'on peut considérer comme formés de molécules réfringentes plongées dans un milieu identique à l'éther du vide, et justifie la considération de l'indice médian en montrant qu'il est sensiblement indépendant de l'orientation de la molécule dans l'intérieur du corps cristallisé.

M. H. Pellat communique ses recherches sur la mesure de la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact.

On sait que les mesures électroscopiques ne fournissent que la différence de potentiel de deux métaux au contact, compliquée des différences de potentiel entre les métaux et le milieu isolant qui les entoure. D'un autre côté, le phénomène Peltier ne permet pas, ainsi qu'il l'a montré (*Journal de Physique,* t. IX, p. 122), d'obtenir la différence de potentiel de deux métaux, comme on l'a cru quelquefois. En l'absence de toute donnée positive sur cette quantité, les opinions sont partagées, certains physiciens croyant, avec Volta, qu'elle est de l'ordre de grandeur des forces électromotrices des piles hydro-électriques, d'autres croyant, avec Maxwell, qu'elle est beaucoup plus faible, de l'ordre des forces électromotrices thermo-électriques.

Voici une expérience qui donne, dans un cas particulier, la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact, et qui montre que c'est l'opinion de Volta qui est exacte.

Rappelons d'abord que la surface de contact de deux conducteurs est comparable à un condensateur, le conducteur au plus haut potentiel étant chargé d'une couche d'électricité positive, vis-à-vis de laquelle se trouve une couche égale d'électricité négative sur le conducteur au plus bas potentiel; la valeur de chacune de ces couches n'est nulle que dans le cas de l'égalité des potentiels. C'est une conséquence forcée des lois de Coulomb, comme le montre aisément le théorème de Gauss.

Considérons maintenant l'appareil suivant : Deux vases communiquants renferment du mercure; l'un A est large, l'autre B est formé par un tube presque capillaire. Un troisième vase C très large contient aussi du mercure. En B et en C le mercure est recouvert par de l'eau acidulée, et ces deux vases communiquent par un siphon rempli du même liquide. Enfin, deux fils de platine relient respectivement le mercure de C et celui de B

aux bornes d'un galvanomètre. Dans ces conditions, si l'on fait varier, même très légèrement, l'étendue de la surface de contact du mercure B et de l'eau acidulée, le galvanomètre accuse un courant, dont le sens dépend du signe de la variation. C'est là le phénomène découvert par M. Lippmann et dont l'explication n'est pas douteuse, aujourd'hui que nous connaissons l'existence des couches électriques doubles; le circuit étant fermé, la différence de potentiel entre l'eau acidulée et le mercure B est constante; si l'on fait varier l'étendue de la surface de contact, on est dans le même cas que si l'on faisait varier l'étendue des armatures d'un condensateur réunies par une force électromotrice maintenant constante leur différence de potentiel : la variation d'étendue entraînerait un courant de charge ou de décharge. Le sens du courant indique ici que le mercure est à un potentiel plus élevé que l'eau acidulée.

Or j'ai pensé qu'on pourrait annuler ces courants ou même en changer le sens, en introduisant dans le circuit une force électromotrice qui polariserait dans le sens convenable le petit mercure B, sans polariser sensiblement le large mercure C. C'est effectivement ce qui a eu lieu, et en me servant d'une force électromotrice variable à volonté et connue, j'ai trouvé ainsi que, pour $e = 0^{\text{volt}},97$, la variation de surface de contact ne donnait plus de courant. Dans ces conditions, la couche double entre le mercure B et l'eau acidulée est donc nulle; c'est-à-dire que ces deux liquides sont au même potentiel; puisque, dans le circuit fermé comprenant le galvanomètre, il n'y a pas de courant, la force électromotrice totale est nulle; par conséquent, la différence de potentiel entre le grand mercure C (non polarisé) et l'eau acidulée est égale en valeur absolue à $e\,(= 0^{\text{volt}},97)$. Le nombre trouvé ainsi est tout à fait d'accord avec celui que M. Lippmann a déterminé d'après la force électromotrice qui rend maximum la constante capillaire.

J'ai ensuite remplacé partout dans l'appareil le mercure par l'amalgame de zinc pur liquide et j'ai trouvé par le même procédé que *la différence de potentiel normale entre l'amalgame de zinc et l'eau acidulée est presque nulle* ($0^{\text{volt}},02$ dans le même sens que pour le mercure).

Enfin, j'ai construit une pile ayant pour électrodes le mercure et l'amalgame de zinc liquide séparés par de l'eau acidulée, et comme pôles des fils du platine. La force électromotrice de celle-ci était $E = 1^{\text{volt}},44$. Or, en représentant d'une façon générale par $X\,|\,Y$ l'excès de potentiel que présente un conducteur Y sur le conducteur X au contact avec lui, et en désignant par P, M, A, L le platine, le mercure, l'amalgame et l'eau acidulée, on a l'identité

$$E = P\,|\,A + A\,|\,L + L\,|\,M + M\,|\,P;$$

et comme

$$E = 1,44, \qquad L\,|\,M = 0,97, \qquad A\,|\,L = -0,02$$

on en tire

$$P\,|\,A - P\,|\,M = 0^{\text{volt}},49.$$

Ainsi la différence de potentiel vraie du platine et de l'amalgame de

zinc au contact (P | A) surpasse de $0^{volt},49$ la même quantité pour le platine et le mercure (P | M). Du reste, d'après la loi des tensions de Volta, on a

$$P|A - P|M = M|A;$$

c'est-à-dire que le mercure présente sur l'amalgame mis au contact avec ui un excès de potentiel de $0^{volt},49$.

Ainsi, dans cette pile, la différence de potentiel entre le liquide et le métal attaqué est à peu près nulle, tandis qu'elle est relativement grande soit entre le liquide et le métal non attaqué, soit entre les métaux.

M. P. Curie demande si, pendant la mesure de différences de potentiel, il n'y a pas production de sulfate de zinc. M. H. Pellat est du même avis, mais ajoute que cela ne modifierait pas les résultats.

M. E. Mercadier indique comment il a été conduit à transformer un téléphone en résonateur électromagnétique.

Le diaphragme d'un téléphone est animé de deux sortes de mouvements. D'abord les mouvements transversaux dépendant de sa forme et de sa structure et correspondant au son fondamental et aux harmoniques; ces mouvements caractéristiques d'une série *discontinue* et *limitée* de sons ne peuvent suffire pour expliquer la production et la reproduction par un téléphone d'une série *continue* et *illimitée* de sons, d'accords et de la parole avec son articulation et son timbre.

Mais il y a en outre des mouvements individuels des molécules, indépendants de la forme du diaphragme, des mouvements dits *de résonance*, qui permettent de se rendre compte de la continuité des effets téléphoniques et de la perfection avec laquelle un téléphone peut reproduire les nuances et le timbre de la voix. A ce point de vue, un diaphragme se comporte comme un corps solide, comme un mur par exemple.

En faisant prédominer l'influence de ces derniers mouvements par l'augmentation d'épaisseur du diaphragme, on augmente le degré de perfection des effets téléphoniques. En favorisant, au contraire, la production des mouvements transversaux, on produit l'effet inverse et, en particulier, on altère le timbre de la voix humaine; c'est ce qui arrive avec des diaphragmes trop minces pour le champ magnétique de l'aimant.

Mais si, sans changer l'épaisseur des diaphragmes, on les laisse libres au lieu de les encastrer sur les bords et si on les pose sur trois points de la circonférence constituant la nodale du 1er harmonique, le téléphone ainsi construit possède une propriété nouvelle : il ne renforce énergiquement que le son dont la période est la même que celle de cet harmonique : il joue, par rapport aux vibrations électromagnétiques, le même rôle qu'un résonateur par rapport aux vibrations sonores.

M. Mercadier montre les effets de deux résonateurs de ce genre construits pour renforcer le $ré_4$ et le $fa_4$.

---

## *Sur le volume moléculaire et l'énergie réfractive de quelques sels de soude;* par M. H. Dufet.

Le travail dont je présente ici les résultats généraux a eu pour but d'étudier, aussi complètement que possible, un certain nombre de sels constitués des mêmes éléments, unis en différentes proportions. L'exemple le plus net présenté par la chimie minérale est celui des différents phosphates de soude, auxquels j'ai joint les arséniates, isomorphes des orthophosphates, et les hypophosphates, dont j'ai montré l'isomorphisme avec les pyrophosphates [1].

Pour chaque sel, autant du moins que cela m'a été possible, j'ai déterminé :

1° La forme cristallographique;
2° La densité;
3° Les constantes optiques.

Je n'ai rien à dire ici sur le premier point; les résultats complets se trouvent au *Bulletin de la Société de Minéralogie* [2].

La densité a été déterminée sur des cristaux très purs, triés à la loupe, et exempts autant qu'il se peut d'inclusions liquides; elle a été prise par la méthode de la balance hydrostatique, avec une balance donnant le $\frac{1}{10}$ de milligramme, dans le pétrole, par comparaison avec un fragment de spath d'Islande, toujours le même dans les expériences, et dont la densité, par rapport à l'eau à 4°, a été trouvée égale à 2,710. D'ailleurs une erreur sur ce dernier chiffre n'affecterait en rien les résultats tirés de la comparaison des densités ou des volumes moléculaires des différents sels.

Pour les propriétés optiques, j'ai déterminé pour chaque sel les indices pour la raie D, le plus souvent par la méthode de la réflexion totale, au moyen de l'appareil que j'ai décrit et figuré

(1) *Bulletin de la Société de Minéralogie*, t. IX, p. 201
(2) *Ibid.*, t. X, p. 77.

dans ce Recueil (¹); j'ai employé aussi, dans la plupart des cas, la méthode du prisme. Le même appareil m'a donné, avec une grande précision, l'angle des axes optiques pour les différentes couleurs. Connaissant les trois indices pour la raie D et les angles des axes pour diverses radiations, un seul prisme, avec l'arête parallèle ou le plan bissecteur perpendiculaire à un axe d'élasticité optique, permet d'obtenir les trois indices pour les raies du lithium et du thallium.

Le Tableau suivant contient, avec les noms et les formules des sels étudiés, leurs indices pour la raie D (²), l'angle intérieur des axes optiques et la densité. Pour les autres renseignements, je renverrai au Mémoire développé.

---

(¹) *Séances de la Société de Physique*, 1886, p. 139.

(²) Le Tableau de la page 125 permet de calculer les indices pour les raies du lithium et du thallium.

| SELS. | FORMULES. | SYSTÈME cristallin. | INDICES pour la raie D. | | | SIGNE optique. | ANGLE intérieur des axes. | DENSITÉ. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Orthophosphate trisodique......... | $3NaO PhO^5 + 24 HO$ | Hexag. | (Ord.) 1,4458 | | (Extr.) 1,4524 | + | Uniaxe | 1,6445 |
| » disodique à 24HO. | $2NaO HO PhO^5 + 24 HO$ | Clinorh. | 1,4373 | 1,4361 | 1,4321 | — | 56.43 | 1,5313 |
| » disodique à 14HO.. | $2NaO HO PhO^5 + 14 HO$ | Clinorh. | 1,4526 | 1,4424 | 1,44115 | + | 38.50 (1) | 1,6789 |
| » monosod. à 4HO.. | $NaO 2HO PhO^5 + 4 HO$ | Orthorh. | 1,48145 | 1,4629 | 1,44005 | — | 82.35 | 1,9096 |
| » monosod. à 2HO.. | $NaO 2HO PhO^5 + 2 HO$ | Orthorh. | 1,4873 | 1,4852 | 1,4557 | — | 29.43 (2) | 2,0547 |
| Arséniate trisodique.............. | $3NaO AsO^5 + 24 HO$ | Hexag. | (Ord.) 1,4567 | | (Extr.) 1,4662 | + | Uniaxe | 1,7593 |
| » disodique à 24HO....... | $2NaO HO AsO^5 + 24 HO$ | Clinorh. | 1,4513 | 1,44955 | 1,4453 | — | 65.13 | 1,6675 |
| » disodique à 14HO........ | $2NaO HO AsO^5 + 14 HO$ | Clinorh. | 1,4782 | 1,4658 | 1,4622 | + | 57. 7 | 1,8825 |
| » monosodique à 4HO..... | $NaO 2HO AsO^5 + 4 HO$ | Orthorh. | 1,5265 | 1,50206 | 1,4794 | + | 88.50 | 2,3093 |
| » monosodique à 2HO..... | $NaO 2HO AsO^5 + 2 HO$ | Orthorh. | 1,5607 | 1,5535 | 1,5382 | — | 67.57 | 2,6700 |
| Pyrophosphate disodique........... | $2NaO PhO^5 + 10 HO$ | Clinorh. | 1,4604 | 1,4525 | 1,4499 | + | 60.29 (3) | 1,8151 |
| » monosodique........ | $NaO HO PhO^5 + 6 HO$ | Clinorh. | 1,4649 | 1,4645 | 1,4599 | — | 31.56 (4) | 1,8616 |
| Hypophosphate disodique.......... | $2NaO PhO^4 + 10 HO$ | Clinorh. | 1,5036 | 1,4822 | 1,4777 | + | 48.56 | 1,8233 |
| » sesquisodique...... | $\frac{1}{2}(3NaO HO PhO^4 + 18 HO)$ | Clinorh. | 1,4804 | 1,4738 | 1,4653 | — | 82. 0 | 1,7427 |
| » monosodique....... | $NaO HO PhO^4 + 6 HO$ | Clinorh. | 1,5041 | 1,4897 | 1,4855 | + | 57.20 | 1,8491 |

(1) A 20° C., $\frac{dV}{dt} = +2,1'$.

(2) A 25° C., $\frac{dV}{dt} = +3,14'$.

(3) A 20° C., $\frac{dV}{dt} = -5,9'$.

(4) A 20° C., $\frac{dV}{dt} = -7,0'$.

*Résultats relatifs aux volumes moléculaires.* — Les déterminations de densité des sels précédents, faites dans des conditions aussi semblables que possible, conduisent à quelques rapprochements intéressants. En calculant le volume moléculaire, c'est-à-dire le quotient de l'équivalent par la densité, on voit que l'addition d'une molécule d'eau, *que ce soit de l'eau de constitution ou de cristallisation,* augmente le volume d'une quantité sensiblement constante dans les orthophosphates et les pyrophosphates.

En écrivant que le volume moléculaire d'un composé est égal à la somme des volumes moléculaires des composants et calculant ces derniers par la méthode des moindres carrés, on arrive aux résultats suivants :

| | Equivalent. | Densité. | Volume moléculaire mesuré. | Volume moléculaire calculé. | O.—C. |
|---|---|---|---|---|---|
| Orthophosphate disodique à 24 HO.... | 358 | 1,5313 | 233,8 | 233,7 | +0,1 |
| » » 14 HO.... | 268 | 1,6789 | 159,6 | 159,8 | —0,2 |
| » monosodique à 4 HO. | 156 | 1,9096 | 81,7 | 81,7 | 0 |
| » » 2 HO. | 138 | 2,0547 | 67,2 | 66,9 | +0,3 |
| Pyrophosphate disodique............ | 223 | 1,8151 | 122,9 | 122,9 | 0 |
| » monosodique......... | 165 | 1,8616 | 88,7 | 89,0 | —0,3 |

Volume moléculaire de $PhO^5$ .... 25,70
» » NaO ..... 11,62
» » HO....... 7,389

On voit qu'ici les différences sont de l'ordre des erreurs d'expérience. L'orthophosphate trisodique présente une anomalie; son volume moléculaire est notablement plus petit que le volume calculé (231,1 observé au lieu de 237,2 calculé). L'arséniate trisodique présente exactement le même phénomène.

Dans les arséniates les volumes moléculaires des composants ne paraissent pas présenter la même constance; les écarts entre l'observation et le calcul, sans être très considérables, sont plus grands que précédemment.

| | Équivalent. | Densité. | Volume moléculaire mesuré. | Volume moléculaire calculé. | O.—C. |
|---|---|---|---|---|---|
| Arséniate disodique à 24 HO......... | 402 | 1,6675 | 242,2 | 242,5 | —0,3 |
| » » 14 HO......... | 312 | 1,8825 | 165,7 | 165,4 | +0,3 |
| » monosodique à 4 HO....... | 200 | 2,3093 | 86,6 | 85,1 | +1,5 |
| » » 2 HO....... | 182 | 2,6700 | 68,2 | 69,7 | —1,5 |

| | |
|---|---|
| Volume moléculaire de $AsO^5$..... | 27,94 |
| » » NaO..... | 10,92 |
| » » HO...... | 7,709 |

L'arséniate trisodique présente la même anomalie que le phosphate correspondant; son volume moléculaire, calculé avec les nombres précédents, est 245,7, tandis que l'observation donne 241,0. Ainsi, dans les deux cas, en passant du sel disodique à 24HO au sel trisodique également à 24HO, la substitution d'un équivalent de NaO à un équivalent de HO se fait avec une contraction notable.

Pour les hypophosphates disodique et monosodique la différence de leurs volumes moléculaires et de ceux des pyrophosphates correspondants est presque la même; il en résulte qu'en calculant le volume moléculaire de $PhO^4$ avec les résultats trouvés pour les phosphates, on arrive à des nombres suffisamment concordants.

| | Équivalent. | Densité. | Volume moléculaire. | Volume moléculaire de $PhO^4$. | Moyenne. |
|---|---|---|---|---|---|
| Hypophosphate disodique..... | 215 | 1,8233 | 117,9 | 20,8 | 21,25 |
| » monosodique.. | 157 | 1,8491 | 84,9 | 21,7 | |

Le volume moléculaire de l'hypophosphate sesquisodique ne s'obtient pas très exactement avec ces nombres; en prenant pour $PhO^4$ 21,25, on trouve pour ce dernier sel 108,9, au lieu de 111,9 mesuré.

La conclusion qui me semble devoir être tirée de ces mesures, c'est que si le volume moléculaire des composants reste constant, à quelques exceptions près, dans des séries de corps composés des mêmes éléments, il n'en est pas de même dans des corps isomorphes, la variation portant sur tous les éléments, communs ou non. Ces résultats, relatifs aux phosphates et arséniates de soude,

dont les poids moléculaires sont notablement différents, ne sont pas d'ailleurs contradictoires avec les résultats de Schiff, par exemple, constatant la presque identité des volumes moléculaires des sulfates simples ou doubles de la série magnésienne, dont les poids moléculaires sont beaucoup plus voisins les uns des autres.

Il est presque inutile de faire remarquer que les volumes moléculaires des composants, déterminés par les calculs précédents, n'ont aucun rapport avec les volumes moléculaires de ces mêmes corps à l'état isolé. Les nombres trouvés dans le calcul représentent la somme du volume occupé par les molécules du composant et de l'espace intermoléculaire. Il n'y a aucune raison *a priori* pour que ce volume reste le même dans des composés analogues. Les curieuses relations signalées par Joule et Playfair (¹) entre le volume moléculaire des sels hydratés et le volume de l'eau supposée à l'état de glace, volumes qui, d'après eux, seraient égaux, subsistent, au moins d'une manière approximative, avec les nombres que j'ai obtenus.

*Résultats relatifs à l'énergie réfractive.* — D'après la loi de Gladstone, l'énergie réfractive spécifique $\frac{N-1}{D}$ d'un composé s'obtient par une règle de mélange à partir des énergies réfractives des composants. Si E est l'équivalent d'un corps composé de $p$, $p'$, $p''$, ... équivalents de corps dont les équivalents sont $e$, $e'$, $e''$, ..., cette loi conduit à l'équation

$$\frac{N-1}{D} = \frac{pe}{E}\frac{n-1}{d} + \frac{p'e'}{E}\frac{n'-1}{d'} + \ldots$$

ou, en remplaçant $\frac{E}{D}$ par le volume moléculaire V,

$$V(N-1) = p\left[\frac{e}{d}(n-1)\right] + p'\left[\frac{e'}{d'}(n'-1)\right] + \ldots.$$

En prenant pour N l'indice *médian*, c'est-à-dire la moyenne arithmétique ou géométrique (*elles se confondent pratiquement*)

(¹) *Chem. Soc. Mem.*, t. II, p. 477, et t. III, p. 199.

des indices (¹), on trouve pour $\frac{e(n-1)}{d}$ des valeurs sensiblement constantes dans une série de sels constitués des mêmes éléments, légèrement différentes en passant d'une série à l'autre. Ici les sels anomaux, tels que les phosphate et arséniate trisodiques, ne font plus exception. Les résultats ont été, dans chaque série, excepté évidemment dans la troisième, calculés par la méthode des moindres carrés.

*Orthophosphates et pyrophosphates.*

| | Volume moléculaire. | Indice médian observé. | Indice médian calculé. | O. — C. |
|---|---|---|---|---|
| Orthophosphate trisodique | 231,1 | 1,4480 | 1,4492 | —0,0012 |
| » disodique à 24HO | 233,8 | 1,4352 | 1,4346 | +0,0006 |
| » » 14HO | 159,6 | 1,4454 | 1,4444 | +0,0010 |
| » monosodique à 4HO | 81,7 | 1,4615 | 1,4656 | —0,0041 |
| » » 2HO | 67,2 | 1,4761 | 1,4747 | +0,0014 |
| Pyrophosphate disodique | 122,9 | 1,4543 | 1,4523 | +0,0020 |
| » monosodique | 88,7 | 1,4631 | 1,4635 | —0,0004 |

$\frac{e}{d}(n-1)$ { $PhO^5$ ........ 14,355; NaO ........ 5,276; HO ........ 3,06825

*Arséniates.*

| | Volume moléculaire. | Indice médian observé. | Indice médian calculé. | O. — C. |
|---|---|---|---|---|
| Arséniate trisodique | 241,0 | 1,4599 | 1,4606 | —0,0007 |
| » disodique à 24HO | 242,2 | 1,4489 | 1,4487 | +0,0002 |
| » » 14HO | 165,7 | 1,4687 | 1,4670 | +0,0017 |
| » monosodique à 4HO | 86,6 | 1,5027 | 1,5053 | —0,0026 |
| » » 2HO | 68,2 | 1,5508 | 1,5499 | +0,0005 |

$\frac{e}{d}(n-1)$ { $AsO^5$ ........ 19,524; NaO ........ 5,453; HO ........ 3,1299

(¹) Pour les sels trisodiques qui sont uniaxes, on a pris pour l'indice médian le tiers de la somme de l'indice extraordinaire et de deux fois l'indice ordinaire.

*Hypophosphates.*

| | Volume moléculaire. | Indice médian observé. |
|---|---|---|
| Hypophosphate disodique........... | 117,9 | 1,4878 |
| » sesquisodique....... | 111,9 | 1,4732 |
| » monosodique........ | 84,9 | 1,4931 |

$$\frac{e}{d}(n-1)\left\{\begin{array}{ll} PhO^4\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 13,17 \\ NaO\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 5,86 \\ HO\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 3,2625 \end{array}\right.$$

On voit par ces nombres que la quantité $\frac{e(n-1)}{d}$, c'est-à-dire ce que Gladstone a appelé l'énergie réfractive moléculaire, ne paraît pas présenter la même valeur dans les différentes séries, mais que pourtant les nombres obtenus sont voisins les uns des autres. Pour l'eau, l'énergie réfractive moléculaire déduite des indices et de la densité serait 3,00 pour l'eau liquide, 3,02 pour la glace; pour la soude, Gladstone donne le nombre 6,25. Ces nombres sont assez voisins de ceux qu'on a obtenus dans les combinaisons précédentes; mais le nombre obtenu pour l'acide phosphorique est très différent du nombre prévu, puisqu'il est moindre que l'énergie réfractive moléculaire du phosphore. La différence est beaucoup trop grande pour être attribuée à une erreur d'expérience.

On ne gagne rien en remplaçant, dans la formule de Gladstone, l'indice par la constante A de la formule de dispersion de Cauchy. En effet, la dispersion est presque la même dans ces différents sels, quelle que soit la quantité d'eau; le Tableau suivant, où l'on donne en unités du quatrième ordre décimal les différences d'indices pour les raies du lithium, du sodium et du thallium, le montre bien.

| | $n_D - n_{Li}$. | | | $n_{Th} - n_D$. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max. | Moy. | Min. | Max. | Moy. | Min. |
| Orthophosphate disodique à 24HO.... | 32 | 31 | 31 | 29 | 28 | 27 |
| » » 14HO.... | 29 | 29 | 29,5 | 26 | 25 | 25,5 |
| » monosodique à 4HO.. | 32,5 | 29 | 24,5 | 29,5 | 26 | 22,5 |
| » » 2HO.. | 32 | 31 | 30 | 29 | 29 | 26 |
| Pyrophosphate disodique............. | 29 | 29 | 29 | 25 | 26 | 27 |
| » monosodique......... | 32 | 29 | 26 | 28 | 27 | 24 |
| Arséniate disodique à 24HO.......... | 33 | 33 | 33 | 33 | 31,5 | 29 |
| » » 14HO.......... | 36 | 35 | 35 | 32 | 31 | 32 |
| » monosodique à 2HO........ | 44 | 41 | 41 | 40 | 38 | 36 |
| Hypophosphate disodique............ | » | 33 | » | » | 30 | » |
| » sesquisodique......... | 35 | 33 | 31 | 32 | 31 | 31 |
| » monosodique......... | 35 | 36 | 33 | 33 | 30 | 28 |

La dispersion semble donc tenir surtout à la présence de l'acide, $PhO^5$ ou $AsO^5$, dont la quantité est constante, et le calcul, refait avec la constante de la formule de Cauchy, donne sensiblement le même résultat que le premier pour l'eau et la soude; les différences entre le calcul et l'observation sont plus grandes que pour le premier calcul; les erreurs, provenant de la mesure de la dispersion, s'ajoutent à celles qui proviennent de la mesure de l'indice pour la raie D.

On peut essayer d'interpréter les résultats précédents à l'aide de l'hypothèse à laquelle conduit la loi des mélanges de Gladstone. On sait que cette loi revient à considérer les corps réfringents comme constitués par des molécules réfringentes plongées dans un milieu identique à l'éther du vide. M. Mallard (¹) fait remarquer que dans cette hypothèse les paramètres cristallographiques restent indépendants des constantes optiques qui résultent uniquement de la symétrie intérieure de la molécule et nullement de la position des nœuds du réseau. Dans un corps biréfringent l'ellipsoïde optique est le même que celui de la molécule; c'est ce qui résulte de l'étude faite par ce savant des effets des lames cristallines superposées (²).

(¹) *Traité de Cristallographie*, t. II, p. 476 et 495
(²) *Ibid.*, t. II, Ch. VIII.

On peut développer ceci et justifier en même temps la considération de l'indice médian. Si plusieurs corps sont mélangés ou combinés, si l'on appelle $v$, $v'$, $v''$ les volumes occupés par chaque espèce de molécule dans l'unité de volume du corps, et $\nu$, $\nu'$, $\nu''$ les indices du milieu moléculaire, l'hypothèse précédemment énoncée conduit à l'équation

$$(1) \qquad N - 1 = v(\nu - 1) + v'(\nu' - 1) + \ldots.$$

Si l'on appelle $p$, $p'$, $p''$, ... les poids des composants pour le poids 1 du composé, $\delta$, $\delta'$, $\delta''$, ... les densités des molécules, D la densité du composé, on a

$$v = \frac{pD}{\delta};$$

d'où la formule de Gladstone

$$\frac{N-1}{D} = p\frac{\nu - 1}{\delta} + p'\frac{\nu' - 1}{\delta'} + \ldots.$$

La loi de Gladstone voudrait donc dire que la quantité $\frac{\nu - 1}{\delta}$ reste constante.

Dans un corps cristallisé, les molécules de même espèce chimique, les molécules d'eau par exemple, dans un corps hydraté, peuvent et doivent avoir en général plusieurs orientations différentes. On les regardera comme d'espèces différentes dans l'équation (1). Si nous considérons les vibrations qui s'effectuent suivant les trois axes d'élasticité du corps composé, nous aurons pour les inverses des vitesses de propagation, c'est-à-dire pour les trois indices principaux, les équations

$$(2) \qquad \begin{cases} N_1 - 1 = v(\nu_1 - 1) + v'(\nu'_1 - 1) + \ldots, \\ N_2 - 1 = v(\nu_2 - 1) + v'(\nu'_2 - 1) + \ldots, \\ N_3 - 1 = v(\nu_3 - 1) + v'(\nu'_3 - 1) + \ldots. \end{cases}$$

En ajoutant ces équations, on a

$$(3) \quad \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} - 1 = v\left(\frac{\nu_1 + \nu_2 + \nu_3}{3} - 1\right) + v'\left(\frac{\nu'_1 + \nu'_2 + \nu'_3}{3} - 1\right) + \ldots.$$

Le premier membre contient l'indice médian. Il est facile de

montrer que, pour chaque espèce de molécule, la quantité

$$\frac{\nu_1 + \nu_2 + \nu_3}{3}$$

est sensiblement indépendante de l'orientation.

Cette quantité représente en effet la moyenne des inverses des vitesses de propagation correspondant à trois directions de vibrations rectangulaires entre elles, c'est-à-dire la moyenne de trois rayons vecteurs de l'ellipsoïde inverse. Or, pour ces trois rayons vecteurs, $\rho$, $\rho'$, $\rho''$, la quantité $\frac{1}{\rho^2} + \frac{1}{\rho'^2} + \frac{1}{\rho''^2}$ est constante et égale à $a^2 + b^2 + c^2$.

Comme les quantités $\rho$, $\rho'$, $\rho''$ sont peu différentes, la valeur de $\frac{3}{\rho + \rho' + \rho''}$ diffère très peu de la quantité constante

$$\sqrt{\frac{1}{3}\left[\frac{1}{\rho^2} + \frac{1}{\rho'^2} + \frac{1}{\rho''^2}\right]}.$$

Il est facile de vérifier que ce n'est que dans le cas d'une biréfringence assez grande que la différence entre les inverses de ces deux quantités atteint le troisième chiffre après la virgule. Pour la calcite, substance exceptionnellement biréfringente, la différence entre ces deux nombres est 0,00645, l'indice ordinaire étant répété deux fois; mais, avec le quartz, cette différence tombe à 0,00002.

Il résulte de ceci que dans le second membre de l'équation (3) les quantités $\frac{\nu_1 + \nu_2 + \nu_3}{3}$ relatives à une même substance sont sensiblement indépendantes de l'orientation de la molécule et égales à l'indice médian. On peut donc appliquer aux indices médians l'équation (1).

Ce calcul n'est d'ailleurs qu'approximatif et doit s'écarter d'autant plus de la vérité que les corps sont plus biréfringents; aussi n'est-il pas étonnant de voir dans les Tableaux rapportés plus haut les plus fortes divergences se rapporter aux sels dont la biréfringence est la plus marquée.

J'ai essayé également de comparer entre elles les mesures cristallographiques. On peut toujours arriver à des relations approchées; ceci résulte d'une manière évidente du beau Mémoire de

M. Mallard [1], montrant que les réseaux cristallins de tous les corps peuvent être regardés comme pseudocubiques. De semblables comparaisons ont donc perdu beaucoup de leur intérêt, tant qu'elles restent approximatives; quant à espérer trouver des relations rigoureuses, les phénomènes, dans le cas que j'ai étudié, sont beaucoup trop compliqués et entraîneraient l'acceptation de trop d'hypothèses purement gratuites pour que j'aie cru devoir entrer dans cette voie. Il me suffit d'avoir fait des mesures que je crois assez exactes pour pouvoir, le cas échéant, servir de vérification aux hypothèses que l'étude de cas plus simples pourrait conduire à admettre.

---

## *Mesure de la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact;* par M. H. Pellat.

On sait que les mesures électroscopiques ne fournissent que la différence de potentiel de deux métaux au contact, compliquée des différences de potentiel entre les métaux et le milieu isolant qui les entoure. D'un autre côté, le phénomène Peltier ne permet pas, ainsi que je l'ai montré [2], d'obtenir la différence de potentiel de deux métaux, comme on l'a cru quelquefois. En l'absence de toute donnée positive sur cette quantité, les opinions sont partagées, certains physiciens croyant, avec Volta, qu'elle est de l'ordre de grandeur des forces électromotrices des piles hydro-électriques, d'autres croyant, avec Maxwell, qu'elle est beaucoup plus faible, de l'ordre des forces électromotrices thermo-électriques.

Voici une expérience qui donne, dans un cas particulier, la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact, et qui montre que c'est l'opinion de Volta qui est exacte.

---

(1) E. Mallard, *Sur l'isomorphisme des chlorates et des azotates, et sur la quasi-identité vraisemblable de l'arrangement moléculaire dans toutes les substances cristallisées* (*Bull. de la Soc. Minéral.*, t. VII, p. 349).

(2) *Journal de Physique*, 1re série, t. IX, p. 122.

Rappelons d'abord que la surface de contact de deux conducteurs est comparable à un condensateur, le conducteur au plus haut potentiel étant chargé d'une couche d'électricité positive, vis-à-vis de laquelle se trouve une couche égale d'électricité négative sur le conducteur au plus bas potentiel : la valeur de chacune de ces couches n'est nulle que dans le cas de l'égalité des potentiels. C'est une conséquence forcée des lois de Coulomb, comme le montre aisément le théorème de Gauss (¹).

L'analogie de cette couche électrique double et de celle qui se trouve sur les armatures d'un condensateur est encore plus complète dans le cas où l'un des conducteurs est un liquide électrolytique et l'autre une électrode, un métal par exemple. Dans ce cas, on peut faire varier la charge de la couche double en plaçant ces conducteurs dans un circuit contenant une force électromotrice : c'est le phénomène de polarisation. Or, si la force électromotrice de polarisation est inférieure à celle qui est nécessaire pour produire la décomposition de l'électrolyte, l'électricité ne peut passer directement de ce liquide à l'électrode; en vertu des lois de Faraday, en effet, l'électricité ne peut passer qu'en entraînant les ions avec elle. Tant qu'il n'y a pas décomposition, les phénomènes électriques sont donc les mêmes que si une lame isolante existait entre la couche électrique placée sur l'électrolyte et la couche de signe contraire placée sur l'électrode : la valeur de ces couches ne peut être modifiée que par un flux d'électricité traversant tout le circuit contenant la force électromotrice qui sert à la polarisation; les expériences de plusieurs physiciens et, en particulier, celles de M. Blondlot sur la *capacité de polarisation* ne laissent aucun doute à cet égard (²).

Considérons maintenant l'appareil suivant : Deux vases communiquants renferment du mercure; l'un A est large, l'autre B est formé par un tube presque capillaire. Un troisième vase C très large contient aussi du mercure. En B et en C le mercure est recouvert par de l'eau acidulée, et ces deux vases communiquent par un siphon rempli du même liquide. Enfin, deux fils de platine

---

(¹) *Journ. de Phys.*, 2ᵉ série, t. II, p. 116.
(²) *Ibid.*, 1ʳᵉ série, t. X, p. 277, 333, 434.

relient respectivement le mercure de C et celui de B aux bornes d'un galvanomètre. Dans ces conditions, si l'on fait varier, même très légèrement, l'étendue de la surface de contact du mercure B et de l'eau acidulée, le galvanomètre accuse un courant, dont le sens dépend du signe de la variation. C'est là un phénomène découvert par M. Lippmann et dont l'explication n'est pas douteuse, aujourd'hui que nous connaissons l'existence des couches électriques doubles; le circuit étant fermé, la différence de potentiel entre l'eau acidulée et le mercure B est constante; si l'on fait varier l'étendue de la surface de contact, on est dans le même cas que si l'on faisait varier l'étendue des armatures d'un condensateur réunies par une force électromotrice maintenant constante leur différence de potentiel : la variation d'étendue entraînerait un courant de charge ou de décharge. Le sens du courant indique ici que le mercure est à un potentiel plus élevé que l'eau acidulée.

Or j'ai pensé qu'on pourrait annuler ces courants ou même en changer le signe, en introduisant dans le circuit une force électromotrice qui polariserait dans le sens convenable le petit mercure B, sans polariser sensiblement le grand mercure C. C'est effectivement ce qui a eu lieu, et, en me servant d'une force électromotrice variable à volonté et connue, j'ai trouvé ainsi que, pour $e = 0^{\text{volt}},97$, la variation de la surface de contact ne donnait plus de courant. Dans ces conditions, la couche double entre le mercure B et l'eau acidulée est donc nulle; c'est-à-dire que ces deux liquides sont au même potentiel; puisque, dans le circuit fermé comprenant le galvanomètre, il n'y a pas de courant, la force électromotrice totale est nulle; par conséquent, la différence de potentiel entre le grand mercure C (non polarisé) [1] et l'eau acidulée est égale en valeur absolue à $e (= 0^{\text{volt}},97)$. Le nombre trouvé ainsi est tout à fait d'accord avec celui que M. Lippmann a déterminé d'après la force électromotrice qui rend maximum la constante capillaire.

J'ai ensuite remplacé partout dans l'appareil le mercure par

---

[1] En réalité, ce large mercure C se polarisait très légèrement; je tenais compte de cette faible polarisation en mesurant la force électromotrice de la pile fournie par le mercure C, l'eau acidulée et un autre large mercure D, qui, n'étant jamais traversé par un courant, ne pouvait se polariser.



l'amalgame de zinc pur liquide, et j'ai trouvé par le même procédé que *la différence de potentiel normale entre l'amalgame de zinc et l'eau acidulée est presque nulle* ($0^{volt},02$ dans le même sens que pour le mercure).

Enfin, j'ai construit une pile ayant pour électrodes le mercure et l'amalgame de zinc liquide séparés par de l'eau acidulée, et comme pôles des fils de platine. La force électromotrice de celle-ci était $E = 1^{volt},44$. Or, en représentant d'une façon générale par $X \mid Y$ l'excès de potentiel que présente un conducteur Y sur le conducteur X au contact avec lui, et en désignant par P, M, A, L le platine, le mercure, l'amalgame et l'eau acidulée, on a l'identité

$$E = P \mid A + A \mid L + L \mid M + M \mid P;$$

et comme

$$E = 1,44, \qquad L \mid M = 0,97, \qquad A \mid L = -0,02,$$

on en tire

$$P \mid A - P \mid M = 0^{volt},49.$$

Ainsi la différence de potentiel vraie du platine et de l'amalgame de zinc au contact ($P \mid A$) surpasse de $0^{volt},49$ la même quantité pour le platine et le mercure ($P \mid M$). Du reste, d'après la loi des tensions de Volta, on a

$$P \mid A - P \mid M = M \mid A;$$

c'est-à-dire que le mercure présente sur l'amalgame mis au contact avec lui un excès de potentiel de $0^{volt},49$.

Ainsi, dans cette pile, la différence de potentiel entre le liquide et le métal attaqué est à peu près nulle, tandis qu'elle est relativement grande soit entre le liquide et le métal non attaqué, soit entre les métaux.

Comme un peu de sulfate de zinc pouvait se former au contact de l'eau acidulée et de l'amalgame, et qu'on pouvait craindre que ce nouveau corps pût perturber le phénomène, les mêmes expériences ont été reprises en remplaçant l'eau acidulée par une dissolution de sulfate de soude neutre qui ne peut attaquer ni le mercure ni le zinc : le nombre trouvé pour $M \mid A$ a été à peu près le même.

Enfin, il est à noter que l'amalgame de zinc liquide dont je me

suis servi dans ces expériences, employé à la place du zinc amalgamé solide, dont on se sert habituellement, dans une pile, donne à celle-ci la même force électromotrice; plus exactement, il lui donne une force électromotrice un peu supérieure, ce qui tient probablement à la plus grande pureté de l'amalgame. Il est donc légitime d'étendre les conclusions au cas du zinc amalgamé solide.

---

## SÉANCE ANNUELLE.

### RÉUNION DES MARDI 31 MAI ET MERCREDI 1er JUIN 1887,

à 8 heures très précises du soir

Machine à vapeur de MM. **Weyher** et **Richemond.**

Dynamo de MM. **Sautter** et **Lemonnier.**

Éclairage électrique par les lampes de M. **Cance.**

---

Expériences de soudure des métaux par l'électricité, procédé **Benardos**, breveté s. g. d. g ...................... **Société pour le travail électrique des métaux.**

Les expériences de soudure électrique ont été faites au moyen d'une machine Gramme appartenant à M. Pierre Legrand, fabricant de tonneaux en fer, 53, boulevard Picpus, et d'accumulateurs de M. de Montaud.

Découpage des dentelles par l'électricité.................. **M. Neveur.**

(Accumulateurs de M. de Montaud.)

Appareil pour montrer les deux modes de réflexion d'un mouvement vibratoire.............................. **M. Violle.**

Méthode stroboscopique pour comparer les durées de vibration de deux diapasons ou les durées d'oscillation de deux pendules.............................................. **M. Lippmann.**

Actinomètre enregistreur de M. **Crova.** — Appareil de M. **Strumbo** pour projeter la double réfraction du quartz. — Appareil de M. **Strumbo** pour montrer en projection la décomposition de la lumière, le minimum de déviation des couleurs et la recomposition de la lumière blanche. — Lanterne pour éclairage microscopique, modèle du laboratoire de M. **Pasteur,** construite suivant les indications de M. le Dr **Roux.** — Expériences de M. **Henri Becquerel** sur les variations des bandes d'absorption du spectre

des cristaux dans la lumière polarisée. — Photographies de M. **Deslandres** montrant la structure des spectres de bandes. — Appareil des réseaux de M. **Crova**. — Appareils d'interférences. — Spectroscope à vision directe pour observer verticalement ou horizontalement. — Nouvel appareil pour l'étude des anneaux colorés de M. **Baille**. — Polariscope Savart, modèle de M. **Cornu** spécialement disposé pour la polarisation atmosphérique. — Photo-polarimètre de M. **Cornu**. — Effets d'illusion d'optique. — Spectres en reliefs. — Spectroscope et dispositif pour la médecine. — Prisme à vision directe grand modèle. — Nouvelle chambre claire de M. **Govi**. — Appareils de M. **Gariel** pour l'optique géométrique. Nouveau modèle de cornue pour la préparation de l'oxygène........ **Maison J. Duboscq, Ph. Pellin, succ^r.**

Monotéléphones ou résonateurs électromagnétiques....... **M. E. Mercadier.**

Électrodynamomètre absolu de M. **Pellat**. — Modèles divers de galvanomètres apériodiques **Deprez-d'Arsonval**. Électrodynamomètres et watts-mètre. — Électromètre apériodique de M. **J. Carpentier**. — Pendule entretenu électriquement. — Batteur de mesure. — Mélographe et mélotrope.............................................. **M. J. Carpentier.**

Pyromètre thermo-électrique. — Pompe à mercure sans robinets.............................................. **M. H. Le Châtelier.**

Appareil enregistreur pour mesurer la résistance à l'écrasement des matériaux................................ **MM. H. et L. Le Châtelier.**

Ampèremètre à mercure chambre métallique. — Ampèremètre à mercure chambre ardoise. — Rhéostats continus. — Caisse de 22 bobines-boussole, petit modèle. — Ampèremètre anneau massif et son court circuit. — Voltmètre **Thomson**. — Voltmètres circulaires. — Électromètre sphérique. — Échelle à diffusion. — Table d'électrothérapie. — Série d'excitateurs **Vigouroux**. — Vibrateurs système **Delany**. — Relais modèles **Delany**. — Commutateurs système **Delany**. — Clefs Morse **Delany**. — Polygraphe universel de **Marey**. — Thermomètre **Mascart**. — Boussole de **Kempe**. — Sismographe de M. **A. Angot**. — Enregistreur grand modèle........................ **Maison Bréguet.**

Nouveau microscope polarisant......................... **M. H. Dufet.**

Métronome à déclenchement et à pointages électriques. Vitesse variable. — Perfectionnement aux télégraphes et aux projecteurs optiques.— Disjoncteur électromagnétique, automatique, transformant, à distance, les courants continus de quantité en courants intermittents de grande tension. — Expérience de transformation par extra-courant.

— Télégraphe Morse avec papier au sulfate de baryte. — Appareil pour l'essai des amorces de tension par la méthode téléphonique.................................. M. E. **Ducretet.**

Cosmographe de M. L. **Girod.** — Appareil de M. **Colladon** pour la production et la démonstration, dans les cours, des trombes ascendantes et descendantes, présentés par..... M. E. **Ducretet.**

Amorces à projection dites *mèches Ruggieri.* — Procédés de mise du feu des trous de mine sans bourrage, avec les amorces à projection ci-dessus; trous de mine chargés à poudre, à dynamite ou autres explosifs. — Exploseurs avec isolateur de l'étincelle d'extra-courant.................. MM. **Scola** et **Ruggieri.**

Appareil pour la démonstration expérimentale du grossissement de la loupe. — Focomètre...................... M. **Mergier.**

Méthode pratique et dispositifs pour l'exécution des prismes de Nicol et de Foucault. — Saccharimètre à projection (expériences à la lumière électrique). — Appareil de polarisation et méthode pratique pour redresser le spath d'Islande et le quartz.................................... M. L. **Laurent.**

Épreuves de photographie obtenues sans objectif.......... M. R. **Colson.**

Impression par l'électricité............................... M. **Boudet de Pâris.**

Nouvel hygromètre......................................... M. A. **Nodon.**

Voltamètre régulateur pour 240 ampères, modèle de la ville de Paris................................................ M. E. **Reynier.**

Montage amovible au mercure appliqué à des accumulateurs Reynier. — Accumulateur à grand débit pour traction et propulsion.................................... M. E. **Blanc.**

Appareil ayant servi à l'isolement du fluor. — Bouchons en spath fluor. — Cornue pour la distillation............. M. **Moissan.**

Appareils pour l'étude des thermomètres à mercure....... **Bureau international des Poids et Mesures.**

Moteur électrique puissant et léger. — Nouveau mode de construction de l'hélice. — Commutateur à changement de marche et signal employés dans les embarcations électriques. — Appareil d'éclairage pour la micrographie et la photomicrographie................................. M. **Trouvé.**

Hématoscope. — Hématospectroscope.................... M. **Hénocque.**

Balance à très court fléau, à pesées rapides, à poids de sensibilité de MM. **Gouche** et **Maurice de Thierry.** — Hématoscope de M. **Maurice de Thierry.** — Appareil photographique « Le Favori ». — Laboratoire portefeuille pour photographie........................................ M. **Paul Rousseau.**

Transformateurs de MM. **Zipernowsky, Deri** et **Blathy**.... **Société industrielle et commerciale Edison.**

Machine Gramme type supérieur.......................... **Compagnie électrique.**

Baromètre anéroïde, échelle 2mm pour 1mm de mercure. — Pluviomètre enregistreur à siphon. — Nouveau modèle de pluviomètre enregistreur à balance. — Actinomètres enregistreurs. — Anémomètre à cadran. — Anémomètre enregistreur. — Compteur totalisateur chronographique. — Indicateur de la vitesse du vent dans l'unité de temps. — Indicateur dynamométrique de M. **Napoli** permettant de déduire le travail développé dans le cylindre d'une machine d'une simple lecture faite sur un cadran tout en donnant le diagramme. — Indicateur de vitesse des machines à vapeur. — Appareils à cadran et enregistreurs pour mesurer et contrôler la charge et la décharge des accumulateurs électriques. — Ampèremètre de **Marcel Deprez** rendu enregistreur. — Thermomètre avertisseur. — Canne exploratrice minima et maxima et à cadran. — Appareils à cadran ou enregistreurs transmettant à distance leurs indications.................................. MM. **Richard** frères

Nouveau modèle de pile domestique utilisant le zinc sous forme de bille avec dispositif pour amalgamage automatique. — Siphon s'amorçant et se désamorçant en soufflant, applicable aux piles électriques et au transvasement de tout liquide corrosif................................ M. **Radiguet.**

Appareil sténo-télégraphique.............................. M. **Cassagnes.**

Sirène de Helmholtz....................................... M. **V. Lefebvre.**

Soufflerie de précision pour des expériences d'acoustique. M. **Cavaillé-Coll.**

Accumulateurs électriques................................. M. **B. de Montaud.**

Boussole à liquide avec rose à flotteur nouveau modèle... M. **Dumoulin-Froment.**

Expériences sur la déformation des électrodes produite par la polarisation. — Élément de pile étalon au bioxyde de mercure. — Appareil pour l'étude de la diffraction de la lumière............................................. M. **Gouy.**

Flotteurs indiquant les densités des couches superposées dans un liquide hétérogène ............................ M. **Robin.**

Machine pneumatique classique à corps de pompe en cristal à graissage automatique sans huile et à mouvement de rotation continu. — Appareil à ballon de caoutchouc pour représenter l'aplatissement de la Terre. — Enregistreur pour anémomètre totalisant par heure la vitesse du vent. M. **Demichel.**

Nouvelle pointe pour paratonnerre........................ **M. Buchin.**

Expériences de M. Ch. **Weyher** sur les tourbillons aériens et les sphères tournantes (tableaux).................... **M. Ch. Weyher.**

Images photographiques représentant les effets produits dans l'air par un projectile............................ **M. E. Mach.**

Nouvel ophtalmoscope du Dr **Giraud-Teulon.** — Lunette d'essai. — Optomètres.................................. **M. Roulot-Giroux.**

Spectroscope à réseau de $\frac{1}{400}$ de millimètre et de 25mq, soit 10000 traits. — Appareil de M. **Crova** pour les interférences des réseaux.................................. **M. Nodot.**

Ophtalmoscope nouveau modèle du Dr **Landolt.** — Appareil du Dr **Maklacoff** pour la mesure de la tension de l'œil.. **M. Nachet (jeune).**

Réfractomètre de M. **Bertrand,** petit modèle, servant, par une méthode rapide et simple, à déterminer à la deuxième décimale près les indices de réfraction des solides et des liquides. — Réfractomètre de M. **Bertrand,** grand modèle, pour mesurer les indices des cristaux dans les plaques minces de roches. — Pince à tourmalines nouveau modèle, avec lentille convergente et plaque de didyme. — Microscope polarisant à lumière convergente et à lumière parallèle. — Microscope polarisant à lumière convergente avec analyseur et éclaireur à grand angle d'ouverture, permettant de voir toutes les bissectrices aiguës et obtuses. — Collection de cristaux uniaxes et biaxes. — Collection de cristaux montrant les phénomènes optiques anomaux. — Rhomboèdres en verre pour la démonstration des trois dispersions. — Prisme de **Bertrand** montrant le phénomène des axes à l'œil nu. — Loupe dichroïscopique. — Collection de cristaux pour le dichroïsme. — Plaques de tourmaline. — Aiguilles de tourmaline pour la pyroélectricité. — Petits miroirs pour électromètres......... **M. Werlein.**

Photomètre de Foucault modifié par M. **Crova,** permettant de mesurer directement les intensités lumineuses sous des angles quelconques.................................. **M. Deleuil.**

Nouveau régulateur **Duboulet** à remontoir électrique automatique.......................................... **M. C. Mora.**

Appareils pour l'étude de la piézo-électricité............ **M. P. Curie.**

Métronome normal.................................... **M. L. Roques.**

Grand porte-lumière à mouvement rotatoire et vertical. — Héliostat à mouvement d'horlogerie construit pour l'observatoire d'Astronomie physique de Meudon. — Grand prisme pour spectroscope astronomique. — Nouveau

modèle de microscope avec éclairage d'Abbe. — Divers microscopes. — Appareils d'hématoscopie du D[r] Hénocque. Prismes de Nicol, de Foucaul, de Jellett et Cornu. — Plaques de tourmaline. — Miroirs pour galvanomètres. — Divers appareils pour l'étude des interférences. — Lentilles et miroirs de Fresnel. — Compensateur à glaces parallèles de Jamin.................................................. M. E. Lutz.

---

## SÉANCE DU 17 JUIN 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 6 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. le PRÉSIDENT annonce à la Société la perte qu'elle vient de faire dans la personne de M. E. Barbier, ingénieur-chimiste.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL signale l'envoi : 1° d'une Note de M. L. GREZEL *Sur l'électrolyse de l'eau;*

2° De documents de M. DELAURIER pour compléter ceux qu'il a envoyés il y a peu de temps au sujet de la *destruction scientifique du grisou à mesure de sa production.*

M. le PRÉSIDENT remercie en ces termes les personnes qui ont pris part à l'Exposition annuelle :

« Messieurs,

» Notre exposition annuelle a eu en 1887 le même éclat et a offert le même intérêt que celles des années précédentes. Peut-être avez-vous remarqué cependant que le nombre des professeurs venus de la province était sensiblement moindre que d'habitude, en raison de la date de cette exposition; nous avons dû tenter une expérience; il y aura lieu, je crois, de tenir compte du résultat qu'elle a donné.

» Nous devons reporter tout d'abord le mérite de l'organisation de notre séance annuelle à notre Secrétaire général, dont le zèle semble croître en même temps que l'expérience acquise. Nos remerciements les plus chaleureux doivent s'adresser ensuite aux éminents constructeurs, MM. Weyher et Richemond, MM. Sautter et Lemonnier, qui ont pris la généreuse habitude de nous fournir gratuitement la force motrice et la dynamo nécessaires à l'éclairage électrique de nos salles. Grâce à une entente cordiale avec le Conseil d'Administration de la Société d'Encouragement, les fon-

dations de ces machines sont maintenant fixées à demeure; nous les retrouverons l'année prochaine, et nous pouvons dire que nous avons pris racine dans ce palais où nous recevons une gracieuse hospitalité.

» Vous avez remarqué l'éclat et la fixité de notre éclairage : il était dû à M. Cance. Une magnifique expérience, celle de la soudure autogène du fer, a pu être faite sous vos yeux, grâce au concours de la Société pour le travail électrique des métaux et à l'obligeante générosité de MM. Legrand et de Montaud. Nous adressons à ces messieurs des remerciements particuliers.

» Je devrais maintenant, pour être juste, citer les noms de tous les constructeurs et de tous les savants qui ont bien voulu nous prêter leur concours. Ils ont tous un droit égal à notre reconnaissance. Qu'ils veuillent bien me pardonner d'être obligé de me borner à signaler quelques-uns d'entre eux. M. Pellin, qui soutient dignement l'honneur d'une maison et d'un nom qui nous est particulièrement cher, s'était chargé du plaisir de nos yeux; M. Carpentier a voulu charmer nos oreilles; MM. Ducretet, Laurent, Trouvé, Richard, Cassagnes, Scola et Ruggieri, la maison Breguet, j'en passe et des meilleurs, nous ont instruits par l'exposition de leurs beaux appareils. Oserai-je dire à nos savants collègues, MM. Lippmann, Violle, Mercadier, Le Châtelier, Dufet, Hénocque, Curie, quel plaisir j'ai trouvé à étudier leurs belles expériences ? Je suis véritablement heureux que l'honneur que vous m'avez fait, Messieurs, en m'appelant à présider votre Société, me donne aujourd'hui la mission d'offrir à tous nos remerciements les plus chaleureux. »

M. Pellat, dans sa Communication sur la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact, faite à la précédente séance, a oublié d'ajouter qu'il a repris ses expériences en remplaçant partout l'eau acidulée par une dissolution de sulfate de soude pure et neutre. Les résultats ont été les mêmes, aux erreurs d'expérience près. C'est la meilleure preuve que la formation du sulfate de zinc, qui se produit au contact de l'amalgame de zinc dans le cas de l'eau acidulée, ne peut pas modifier les conclusions de l'auteur pour la différence de potentiel des métaux, comme le craignait M. Curie.

M. Cornu s'est proposé de résoudre le problème suivant :

Rendre les oscillations d'un système mobile donné (balancier, lame vibrante, galvanomètre, etc.) exactement synchroniques avec un mouvement périodique également donné (battements d'une horloge, d'un relais, etc.).

Le système oscillant est soumis à l'action :

1° D'une force proportionnelle à l'écart angulaire $\theta$; 2° d'une force perturbatrice proportionnelle à la vitesse; 3° de la force F destinée à produire le synchronisme et supposée, pour plus de simplicité, indépendante de la position du système.

L'équation différentielle du mouvement est

$$\mu \frac{d^2\theta}{dt^2} + q \frac{d\theta}{dt} + r\theta = F,$$

$\mu$ désignant le moment d'inertie du système, et l'intégrale générale de cette équation, expression du mouvement cherché, se compose de deux termes :

$$\theta = A e^{-\alpha t} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \varphi\right) + \mathfrak{I},$$

$\alpha$ désignant le coefficient d'amortissement et T la période du mouvement non synchronisé. Pour que cette période n'ait plus d'influence sur le mouvement, il faut et il suffit que le premier terme devienne négligeable au bout d'un temps fini ; l'analyse indique donc la possibilité de résoudre le problème à l'aide d'une *liaison synchronique,* à la condition, nécessaire et suffisante, que le mouvement libre du système soit une oscillation amortie, et le régime stable sera atteint d'autant plus rapidement que le coefficient d'amortissement sera plus considérable.

M. Cornu étudie successivement deux sortes de liaisons synchroniques : 1° Une liaison constituée par une force périodique suivant dans ses variations une loi pendulaire simple ; 2° une liaison constituée par une force périodique instantanée.

*Première partie.* — Si l'on veut que le régime stable du système oscillant soit un mouvement pendulaire simple, c'est-à-dire un mouvement représenté par la fonction circulaire

$$\mathfrak{I} = \mathfrak{M} \sin 2\pi \frac{t}{\Theta},$$

on trouve que la liaison synchronique doit être une force périodique variant aussi suivant une loi pendulaire simple de même période et pouvant être représentée, par conséquent, par la fonction

$$F = B \sin 2\pi \left(\frac{t}{\Theta} - \Phi\right).$$

Chose remarquable, il existe toujours une différence de phase entre la force F et le mouvement $\mathfrak{I}$. Cette différence de phase, qui correspond toujours à un retard du mouvement synchronisé, est donnée par la formule suivante :

$$\tan 2\pi\Phi = \frac{2\alpha \frac{2\pi}{\Theta}}{\alpha^2 + 4\pi^2\left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{\Theta^2}\right)}.$$

Les résultats de la théorie sont vérifiés à l'aide d'un galvanomètre du

type Deprez-d'Arsonval, dont on peut faire varier le coefficient d'amortissement en introduisant dans le circuit des résistances plus ou moins considérables. La liaison synchronique est fournie par des courants induits qu'on obtient en faisant osciller à l'intérieur d'un solénoïde un aimant fixé à l'extrémité d'une lame vibrante. L'effet produit par la liaison peut être mis en évidence d'une façon fort élégante : un faisceau lumineux, émané d'un petit diaphragme circulaire, se réfracte dans une lentille liée à la lame vibrante, se réfléchit sur le miroir du galvanomètre et produit finalement sur un écran un point lumineux. Si la lame vibrante oscille seule, le point lumineux décrit sur l'écran une vibration verticale dont l'élongation représente à chaque instant, avec un retard d'un quart de vibration, la force électromotrice d'induction; les oscillations du miroir du galvanomètre, agissant seules, produiraient de même sur l'écran une vibration horizontale, et, si les deux organes se meuvent simultanément, on réalise, par la méthode de Lissajous, la composition optique du mouvement synchronisé et de la variation de la force synchronisante. On voit sur l'écran une ellipse qui, après s'être déformée pendant quelques instants, garde une position fixe dans laquelle le retard entre les composantes horizontale et verticale est égal, à un quart de vibration près, au retard $\Phi$. La disposition expérimentale permettant de faire varier $\alpha$, ainsi que la différence des périodes T et $\Theta$, dans de larges limites, on peut vérifier jusque dans ses moindres détails les indications de la théorie.

*Deuxième partie.* — Dans l'étude d'une liaison synchronique constituée par une force instantanée périodique, M. Cornu distingue deux cas, dans chacun desquels il suppose les périodes T et $\Theta$ peu différentes.

*Premier cas : l'oscillation primitive est non amortie.* — Il ne doit pas y avoir de synchronisation possible, mais la théorie indique que les amplitudes successives des oscillations varient comme les rayons vecteurs d'un mobile qui décrirait, d'un mouvement uniforme, un cercle excentrique par rapport au pôle; le système oscillant exécute de véritables battements.

*Second cas : l'oscillation primitive est faiblement amortie.* — Une oscillation de ce genre peut être représentée par une spirale logarithmique rapportée à des axes de coordonnées obliques et supposée décrite par un mobile fictif avec une vitesse angulaire uniforme : l'abscisse de ce mobile représente à chaque instant l'élongation, et l'ordonnée, la vitesse de l'oscillation considérée. Si une force instantanée périodique est appliquée à une pareille oscillation, les amplitudes successives varient comme les rayons vecteurs d'une autre spirale logarithmique excentrique par rapport à l'origine des coordonnées et supposée décrite avec une vitesse angulaire constante.

Pour vérifier expérimentalement ces indications de la théorie, on s'est servi d'un lourd pendule battant *à peu près* la seconde, dont les oscillations peuvent être plus ou moins amorties par le passage d'un aimant fixé

au pendule au travers d'un solénoïde fermé. Un autre aimant, fixé également au pendule, sert à développer dans un autre solénoïde des courants d'induction qu'on envoie dans un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, de telle sorte que les élongations de ce dernier reproduisent, avec un retard qu'on peut rendre négligeable, les vitesses du pendule. La composition optique de ces deux mouvements, s'ils ont même amplitude, fournirait la spirale logarithmique représentative du mouvement du pendule.

Ceci posé, la force synchronisante est produite par l'action d'un courant électrique envoyé toutes les deux secondes par une horloge astronomique et, au même instant, l'image d'une étincelle d'induction, réfléchie sur le miroir du pendule et sur celui du galvanomètre, est fixée sur une plaque photographique. La succession de ces images dessine, conformément à la théorie, une spirale logarithmique.

M. Cornu termine en projetant devant la Société l'image des clichés qu'il a ainsi obtenus.

M. Mathias communique, au nom de M. Cailletet et au sien, les résultats des recherches qu'ils ont faites sur la densité de l'acide sulfureux à l'état de liquide et de vapeur saturée.

Cette étude a pour but de généraliser, en l'appliquant à un corps à point critique élevé, la méthode qui avait été précédemment appliquée à l'éthylène, au protoxyde d'azote et à l'acide carbonique.

I. Le point de départ est la mesure de la densité de vapeur saturée. L'appareil employé est celui qui a servi aux recherches précédentes; on a dû modifier seulement les procédés de chauffage, de façon à atteindre le point critique de l'acide sulfureux (156°) par des élévations successives et à maintenir la température constante pendant chaque expérience.

L'expérience a montré que cette méthode est applicable à température élevée, et son exactitude n'est limitée que par la présence de la vapeur de mercure dont la tension ne devient sensible qu'au-dessus de 200°.

II. La densité de l'acide sulfureux liquide a été étudiée par la méthode thermométrique. Les thermomètres employés sont à parois épaisses, de façon qu'au point critique, bien que la pression soit d'environ $79^{atm}$, l'augmentation du volume sous l'influence de la pression intérieure n'atteigne pas $\frac{1}{2000}$.

Le poids total du liquide et de la vapeur est donné par la pesée du thermomètre vide et plein; la correction *exacte* du poids de la vapeur se déduit aisément de la connaissance de son volume et de sa densité déterminée préalablement. On étudie ainsi la densité du liquide jusqu'au voisinage immédiat du point critique.

Ces expériences montrent, une fois de plus, que la densité du liquide et celle de la vapeur ont une limite commune qui est 0,520 pour l'acide sulfureux. Elles prouvent aussi que la méthode du thermomètre métasta-

tique, préconisée par Drion, n'élimine pas complètement l'erreur due à la vaporisation du liquide thermométrique, surtout à haute température.

Le calcul des coefficients de dilatation montre que, dans le demi-degré qui précède le point critique, le coefficient *moyen* est égal environ à 200 fois le coefficient de dilatation des gaz, le coefficient *vrai* devenant infini au point critique.

La connaissance des deux sortes de densités de $SO^2$ a permis le calcul de la chaleur latente de vaporisation par la formule connue de la Thermodynamique. On retrouve ainsi très sensiblement, pour la température de 0°, le nombre obtenu expérimentalement par M. Chappuis.

Si l'on assimile les vapeurs saturées aux gaz ordinaires, et qu'on essaye de calculer leurs densités par les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, on trouve pour $C^4H^4$, $CO^2$, $SO^2$ des résultats beaucoup trop faibles, de telle sorte qu'il est impossible de formuler une relation même approchée entre les densités calculées et les densités observées. Seul, le protoxyde d'azote donne, au-dessous de — 10°, des densités calculées plus fortes que les densités observées. Ce fait, rapproché de la divergence extrême offerte par les mesures de tension de vapeur des différents expérimentateurs, paraît expliqué par la difficulté que l'on a à se procurer ce gaz à l'état de pureté.

---

## *Sur la condition de stabilité du mouvement d'un système oscillant soumis à une liaison synchronique pendulaire;*

par M. A. Cornu.

Dans l'établissement de certains dispositifs de haute précision usités en Physique ou en Astronomie, on est conduit au problème suivant :

*Rendre les oscillations d'un système mobile donné* (*balancier, lame vibrante, galvanomètre,* etc.) *exactement synchroniques avec un mouvement périodique également donné* (*battements d'une horloge, d'un relai,* etc.).

Le système oscillant à *synchroniser* est, en général, un solide invariable soumis à l'action :

1° D'une force principale proportionnelle à l'écart;
2° D'une force perturbatrice proportionnelle à la vitesse;
3° D'une force additionnelle, constituant la *liaison synchro-*

*nique*, dont l'intensité est périodique et que, pour simplifier, nous supposerons indépendante de la position du système.

L'équation différentielle du mouvement est

$$(1)\qquad \mu\frac{d^2\theta}{dt^2}+q\frac{d\theta}{dt}+r\theta=\mathrm{F},$$

$\theta$ représentant l'écart angulaire du système; $\mu$ le moment d'inertie; $q$ et $r$ les moments des deux premières forces correspondant à l'unité de vitesse angulaire et d'écart; F le moment de la liaison synchronique fonction du temps seulement.

L'intégrale générale de cette équation, expression du mouvement cherché, se compose de la somme de deux termes

$$(2)\qquad \theta=\mathcal{A}e^{-\alpha t}\sin 2\pi\left(\frac{t}{\mathrm{T}}-\varphi\right)+\mathcal{F},\qquad \left\{\begin{aligned}\alpha&=-\frac{q}{2\mu},\\ \frac{2\pi}{\mathrm{T}}&=\sqrt{\frac{r}{\mu}-\left(\frac{q}{2\mu}\right)^2}.\end{aligned}\right.$$

Le premier terme, solution de l'équation (1) sans second membre ($\mathcal{A}$ et $\varphi$ étant les deux constantes arbitraires de l'intégration), représente une oscillation dont l'amplitude *s'amortit* avec le temps; le second, $\mathcal{F}$, est une solution particulière de l'équation complète. Le mouvement définitif est donc la superposition de l'*oscillation amortie* que le système prendrait si la liaison synchronique n'existait pas et d'un mouvement qui dépend de la loi qui lie l'intensité de la force synchronisante avec le temps.

Le problème proposé consiste à chercher s'il est possible de faire coïncider ce mouvement résultant avec une fonction périodique $\mathcal{F}$ dont la période $\Theta$ est différente de la période T de l'oscillation propre du système.

La présence du premier terme, représentant l'oscillation amortie de période T, montre que cette coïncidence n'est possible qu'après un temps suffisamment long, lorsque l'exponentielle négative est devenue sensiblement nulle; mais qu'après cet intervalle le mouvement du système peut être identifié avec un mouvement quelconque $\mathcal{F}$ de période $\Theta$ compatible avec la condition de vérifier l'équation (1); d'où l'on conclut :

*Pour qu'un système oscillant puisse être synchronisé, il faut et il suffit que le mouvement libre du système soit une oscillation amortie : le régime stable est d'autant plus rapidement atteint que l'amortissement est plus grand.*

*Cas d'une force périodique suivant la loi pendulaire simple.* — Parmi les mouvements périodiques qu'on peut se proposer d'imposer au système oscillant, le plus simple au point de vue de la théorie aussi bien que de la convenance expérimentale est le mouvement *pendulaire simple* ou *oscillation non amortie.* Cherchons donc à quelles conditions doit satisfaire la liaison synchronique F pour donner au système oscillant un régime stable représenté par la fonction circulaire

$$(3) \qquad \mathfrak{S} = \mathfrak{A} \sin 2\pi \left(\frac{t}{\theta} - \psi\right).$$

Il suffit de substituer dans l'équation (1) $\theta = \mathfrak{S}$; on en déduit

$$(4) \quad \left\{ \begin{aligned} F = \mathfrak{A} \Big[ & \left(r - \mu \frac{4\pi^2}{\theta^2}\right) \sin 2\pi \left(\frac{t}{\theta} - \psi\right) \\ & + \frac{2\pi}{\theta} q \cos 2\pi \left(\frac{t}{\theta} - \psi\right) \Big] = B \sin 2\pi \left(\frac{t}{\theta} - \Phi\right). \end{aligned} \right.$$

La force synchronisante est donc aussi une fonction circulaire du temps caractérisée par une amplitude B et une phase $\Phi$ qu'on détermine par une identification facile; on trouve ainsi

$$(5) \quad \left\{ \begin{aligned} B &= \mathfrak{A} \sqrt{\left(r - \mu \frac{4\pi^2}{\theta^2}\right)^2 + \frac{4\pi^2}{\theta^2} q^2} \\ &= \mathfrak{A} \mu \sqrt{\left[\alpha^2 + 4\pi^2 \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{\theta^2}\right)\right]^2 + 4\alpha^2 \frac{4\pi^2}{\theta^2}}, \end{aligned} \right.$$

$$(6) \qquad \operatorname{tang} 2\pi(\Phi - \psi) = \frac{-\dfrac{2\pi}{\theta} q}{r - \mu \dfrac{4\pi^2}{\theta^2}} = \frac{2\alpha \dfrac{2\pi}{\theta}}{\alpha^2 + 4\pi^2 \left(\dfrac{1}{T^2} - \dfrac{1}{\theta^2}\right)}.$$

Ces expressions permettent de conclure les paramètres B, $\Phi$ de la force synchronisante en fonction de ceux du mouvement $\mathfrak{A}$, $\psi$, ou inversement. La formule (6) montre que $(\Phi - \psi)$ ne peut être

nulle que si le coefficient d'amortissement $\alpha$ est égal à zéro; d'où l'on conclut :

*Lorsque la force synchronisante et le mouvement synchronisé sont représentés par la loi pendulaire simple, il existe toujours une différence de phase, entre la force et le mouvement : cette différence de phase, conséquence de l'amortissement, correspond toujours à un retard du mouvement synchronisé.*

*Cas d'une force périodique quelconque.* — On peut, sans calcul nouveau, obtenir le mouvement, en régime stable, dû à une force variable quelconque F dont la période est $\Theta$. On sait que l'expression de cette force en fonction du temps est, en général, développable par la série de Fourier et peut être mise sous la forme

$$(7)\quad \begin{cases} F = B_1 \sin 2\pi\left(\dfrac{t}{\Theta} - \Phi_1\right) \\ \qquad + B_2 \sin 2\pi\left(\dfrac{2t}{\Theta} - \Phi_2\right) + \ldots + B_n \sin 2\pi\left(\dfrac{nt}{\Theta} - \Phi_n\right) + \ldots . \end{cases}$$

Le second membre F de l'équation différentielle (1) se composera donc d'une somme de termes ayant la même forme que ci-dessus : le terme F de l'intégrale générale sera la somme de termes $\mathfrak{F}_1$, $\mathfrak{F}_2$, ..., $\mathfrak{F}_n$ assujettis seulement à vérifier individuellement l'équation (1); des expressions (5) et (6) on déduira donc aisément les paramètres du terme général en y changeant B en $B_n$, $\mathfrak{B}$ en $\mathfrak{B}_n$, $\Phi$ en $\Phi_n$ et $\Theta$ en $\dfrac{\Theta}{n}$.

On voit alors que chaque terme périodique de la force produit un effet périodique correspondant sur l'amplitude et la phase du mouvement résultant, mais que cet effet va en décroissant rapidement avec l'ordre $n$, car les termes successifs contiennent $n^2$ ou $n^4$ au dénominateur : cette circonstance permet, dans diverses applications, de réduire la série à ses premiers termes ou d'utiliser les développements peu convergents représentant certaines fonctions discontinues.

*Vérification expérimentale des résultats précédents.* — Il importe de vérifier entre des limites aussi étendues que possible les résultats ci-dessus, particulièrement en ce qui concerne l'influence de l'amortissement sur l'établissement du régime stable, sur la phase et l'amplitude du mouvement définitif : on y parvient en utilisant les phénomènes d'induction.

Si l'on ferme le circuit d'un galvanomètre par un solénoïde au voisinage duquel oscille un aimant, on réalise toutes les conditions étudiées ci-dessus : on retrouve en effet le système oscillant (aimant mobile, dans un cadre fixe ou cadre mobile devant un aimant fixe) soumis aux trois forces précitées : couple principal proportionnel à l'écart (action terrestre ou torsion), couple d'amortissement (réactions électromagnétiques du cadre et de l'aimant) et liaison synchronique constituée par l'action du courant induit dans le solénoïde.

Pour faire les vérifications dans les conditions les plus concluantes, on construit un galvanomètre du type Deprez-d'Arsonval, dont le cadre très léger, suspendu à un fil de torsion assez gros, présente une période d'oscillation à circuit ouvert d'environ $\frac{1}{7}$ de seconde : ce galvanomètre, fermé en court circuit, possède un coefficient d'amortissement considérable ; mais, lorsqu'on introduit dans le circuit des résistances croissantes, le coefficient d'amortissement diminue de plus en plus : on démontre qu'il varie sensiblement en raison inverse de la résistance totale du circuit (¹).

---

(¹) Soient $c$ le couple de torsion du cadre, $q'$ le coefficient de la résistance de l'air et $i$ l'intensité du courant qui parcourt le cadre ($n$ tours, $s$ aire moyenne, $f$ intensité du champ magnétique) ; on a, pour l'équation différentielle du mouvement du cadre,

$$\mu \frac{d^2\theta}{dt^2} + q' \frac{d\theta}{dt} + c\theta = fnsi \qquad \text{avec} \qquad i = \frac{\Sigma E}{R},$$

R étant la résistance *totale* du circuit. La somme des forces électromotrices $\Sigma E$ se compose de $F(t)$ développée par l'aimant dans le solénoïde, $-fsn\frac{d\theta}{dt}$ développée par le déplacement du cadre, et $-L\frac{di}{dt}$ par l'induction des spires sur

L'aimant inducteur est fixé transversalement à une lame vibrante munie de curseurs pouvant faire varier la période d'oscillation entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{2}$ seconde. Le solénoïde induit est formé d'une torsade de dix fils isolés identiques, ayant chacun une résistance égale à celle du galvanomètre : cinq d'entre eux sont réunis en *quantité* (circuit $C_1$) et cinq en *tension* (circuit $C_2$).

Il s'agit de comparer le mouvement du cadre du galvanomètre avec la force périodique qui le sollicite, c'est-à-dire avec l'intensité du courant induit, et de vérifier si les lois mathématiques exprimées ci-dessus s'appliquent exactement. Une telle vérification serait assez complexe si l'on voulait déterminer séparément ces deux éléments en fonction du temps : elle devient, au contraire, intuitive si l'on a recours à la *composition optique* des oscillations de l'aimant et du galvanomètre. A cet effet, la lame vibrante, qui est verticale, porte un bras horizontal muni d'une petite boule d'acier poli ; le point brillant qui s'y forme oscille pendulairement suivant une petite ligne verticale; avec une loupe on en observe l'image réelle, réfléchie sur le miroir concave du galvanomètre; on obtient ainsi une ligne lumineuse dont chaque point a pour abscisse verticale le mouvement pendulaire de l'aimant, et pour ordonnée horizontale la déviation du galvanomètre. Le choix de la durée d'oscillation, voisin de $\frac{1}{7}$ de seconde, permet une persistance visuelle suffisante pour donner l'impression d'une ligne continue sans empêcher cependant de reconnaître le sens de la description de la courbe. Voici les principales expériences (¹) qu'on peut faire avec ces deux appareils et une boîte de résistances auxiliaires :

---

elles-mêmes; d'où

$$Ri = F(t) - fsn\frac{d\theta}{dt} - L\frac{di}{dt};$$

comme on peut négliger le coefficient L de self-induction du système, l'élimination de $i$ est immédiate et l'on trouve

$$\mu\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(q' + \frac{f^2s^2n^2}{R}\right)\frac{d\theta}{dt} + c\theta = \frac{fsn}{R}F(t).$$

Le coefficient d'amortissement du galvanomètre est donc représenté par

$$\alpha = -\frac{1}{2\mu}\left(q' + \frac{f^2s^2n^2}{R}\right).$$

(¹) Les appareils ont fonctionné sous les yeux de la Société de Physique en pro-

1° *Influence de la grandeur de l'amortissement sur la durée du régime variable.* — On ferme le circuit du galvanomètre par l'un des circuits du solénoïde, de préférence par celui dont la résistance est la plus faible (circuit $C_1$), et l'on met l'aimant en oscillation : l'image atteint presque aussitôt une figure permanente; le régime variable ne dure donc que quelques instants, et le régime stable persiste ensuite indéfiniment.

Les périodes d'oscillation de l'aimant et du galvanomètre n'ont pas besoin d'être très voisines; elles peuvent différer de 10, 20 pour 100 et même davantage, sans que la synchronisation cesse d'avoir lieu rapidement, grâce à la grandeur du coefficient d'amortissement du galvanomètre fermé sur une faible résistance.

Si l'on introduit progressivement dans le circuit des résistances auxiliaires, la durée du régime variable augmente parce que l'amortissement diminue (en raison inverse de la résistance totale), mais le régime stable finit toujours par s'établir. Cependant, avec les grandes résistances, la durée du régime variable serait si longue qu'il deviendrait nécessaire, pour en observer la fin, d'entretenir les oscillations de la lame vibrante.

2° *Forme de la courbe : cas de l'ellipse.* — La forme de la courbe dépend de la distribution magnétique de l'aimant et des trajectoires de ses points : on obtient des courbes particulières avec un aimant gros et court. Mais avec une aiguille mince et longue, dont l'extrémité décrit un élément d'axe du solénoïde, on obtient, comme dans les expériences de Lissajous, une ellipse parfaitement régulière; on peut même la transformer sensiblement en un cercle en réglant l'intensité magnétique de l'aiguille ou la longueur du bras qui porte le point brillant.

Ce résultat est une vérification des lois précédentes : on sait, en effet, que la force électromotrice d'induction, et par suite l'intensité dans le circuit, sont proportionnelles à la vitesse du pôle d'aimant qui se déplace axialement dans l'intérieur d'un solénoïde

---

jetant l'image du point lumineux mobile : pour obtenir une intensité lumineuse suffisante, la petite boule d'acier poli était remplacée par une lentille à court foyer bordée d'un large écran circulaire sur laquelle on faisait tomber un faisceau de lumière électrique.

suffisamment long. Le déplacement du pôle étant pendulaire, l'intensité du courant ou la force synchronisante proportionnelle à la dérivée du déplacement par rapport au temps suit donc aussi la loi pendulaire simple, mais avec un quart de période comme différence de phase inhérente aux arguments de la fonction circulaire et de sa dérivée. La forme elliptique de la courbe prouve que, conformément aux résultats ci-dessus, le déplacement du système synchronisé suit la même loi pendulaire que la force synchronisante.

3° *Influence de la grandeur de l'amortissement sur la différence de phase. Deux cas extrêmes.* — La discussion de l'expression de $\Phi - \psi$ (6) montre que la variation du coefficient d'amortissement $\alpha$ agira d'une manière différente suivant la grandeur relative de $\alpha^2$ et de $4\pi^2\left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{\Theta^2}\right)$. On peut donc distinguer deux cas extrêmes.

*a.* La différence des périodes est grande : $\alpha$ devient négligeable devant l'autre terme, $\alpha$ n'intervient plus qu'au numérateur, et alors la différence de phase varie dans le même sens que l'amortissement. L'expérience montre en effet que, si l'on supprime progressivement les résistances auxiliaires du circuit, l'ellipse s'incline de plus en plus sur la diagonale du rectangle circonscrit. L'effet devient très démonstratif si, par un artifice convenable, on rend constant le rectangle circonscrit: on y parvient en augmentant la force électromotrice proportionnellement à la résistance totale du circuit : l'intensité du courant n'est pas modifiée, mais $\alpha$ varie en raison inverse de la résistance. C'est dans ce but que les deux circuits $C_1$ et $C_2$ du solénoïde ont été préparés : si, pendant l'oscillation de l'aimant, on substitue, par le jeu d'un commutateur, l'un des circuits à l'autre, on voit l'ellipse, presque verticale dans le circuit en tension $C_2$, s'incliner sur la diagonale avec le circuit en quantité $C_1$.

*b.* Si, au contraire, les deux périodes sont très voisines, c'est le terme en $\alpha^2$ qui prend l'importance au dénominateur, ce qui tend à renverser son influence, car $\alpha$ est en facteur au numérateur. Aussi, contrairement au cas précédent, c'est avec les grandes

résistances que l'ellipse s'incline le plus sur la diagonale du rectangle. Toutefois, le phénomène est moins simple, parce que l'amplitude B du galvanomètre (côté horizontal du rectangle) grandit beaucoup, ainsi qu'on le voit à l'inspection de (5).

4° *Influence de la différence des périodes sur la différence de phase.* — Lorsque l'amortissement est faible, la différence de phase (6) est petite : mais on peut accroître cette différence en faisant varier convenablement la différence des périodes : l'expression $\tang 2\pi(\Phi - \psi)$ devient même infinie pour une valeur de T voisine de $\Theta$, ce qui rend la différence de phase égale à $\frac{1}{4}$, laquelle, ajoutée à la fraction $\frac{1}{4}$, inhérente au dispositif, produit $\frac{1}{2}$. L'ellipse se réduit alors à une diagonale du rectangle.

L'expérience vérifie de tout point ces conclusions; il suffit, toutes choses égales d'ailleurs, de faire marcher le curseur progressivement dans le même sens : l'ellipse stable s'aplatit de plus en plus, devient une droite et reparaît au delà, mais avec un sens de description inverse.

---

## *Sur la synchronisation d'une oscillation faiblement amortie. Indicatrice de synchronisation représentant le régime variable;* par M. A. Cornu.

La théorie exposée dans l'article précédent permet de traiter les cas les plus divers qui peuvent se présenter et de prévoir toutes les circonstances du régime variable aussi bien que du régime stable qui le suit. Mais la forme analytique sous laquelle elle est exposée, si bien appropriée au cas où la force synchronisante est une fonction *continue* du temps, offre quelques difficultés lorsque la force est discontinue, à cause de l'emploi de la série de Fourier et du nombre considérable de termes nécessaires à la représentation exacte de ce genre de fonctions. Ce cas d'une fonction discontinue est cependant fort important dans les applications (notamment à l'horlogerie) où l'on utilise une action presque instantanée pour produire la synchronisation.

Il paraît donc utile de le considérer à part et de le traiter par une méthode spéciale, sauf à vérifier la concordance des résultats.

Nous prendrons comme types les conditions suivantes, qui répondent à certains problèmes pratiques :

1° *Le système oscillant est soumis périodiquement à l'action d'une force instantanée très petite;*

2° *La période* $\Theta$ *de cette force diffère peu de la période* T *d'oscillation libre du système;*

3° *Le coefficient d'amortissement de l'oscillation est très faible.*

(Nous appellerons *force instantanée* une force agissant pendant un temps assez court pour qu'on puisse négliger le déplacement du système pendant la durée de l'application de cette force : elle est *très petite* lorsqu'elle ne produit qu'une variation relative très petite de la vitesse; enfin nous dirons que le *coefficient d'amortissement* est *très faible* lorsqu'on peut négliger devant l'unité le carré du produit $\alpha T$ de ce coefficient par la période T d'oscillation libre.)

La méthode que nous emploierons est fondée sur la représentation géométrique d'un mouvement quelconque par une courbe dont chaque point a pour abscisse le déplacement à une époque donnée et pour ordonnée une longueur proportionnelle à la vitesse au même instant. Ce mode de représentation, suggéré par les propriétés de l'oscillation pendulaire simple (dont la courbe représentative coïncide avec un cercle lorsque le facteur de proportionnalité de la vitesse $K = T : 2\pi$), s'applique d'une manière particulièrement élégante à l'oscillation amortie. Dans ce cas, les axes de coordonnées sont obliques : leur angle $\zeta$ et le coefficient de proportionnalité sont respectivement donnés par

(8) et (9) $$\tang\zeta = \frac{2\pi}{\alpha T}, \qquad K = \frac{T \sin\zeta}{2\pi}.$$

La courbe représentative est une spirale logarithmique dont le rayon vecteur coupe la courbe sous l'angle $\zeta$ et se déplace avec la vitesse angulaire constante $2\pi : T$ [1].

[1] On démontre aisément tous ces résultats en identifiant les valeurs de l'abscisse $x$ et de l'ordonnée $y$ d'une spirale logarithmique $\rho = Ae^{-\beta\omega}$ ($\omega$ étant compté à partir de l'axe des $y$), rapportée à des coordonnées obliques d'angle $\zeta$



Il résulte de ce mode de figuration qu'une oscillation quelconque, pendulaire ou amortie, est représentée par un *vecteur*, c'est-à-dire par une droite $\rho$ issue d'une origine fixe mesurant l'amplitude à l'époque $t$ et faisant avec une direction fixe un angle $\omega = \frac{2\pi t}{T}$, mesurant le temps écoulé depuis un déplacement nul. On peut ainsi utiliser toutes les relations simples que fournit la *composition* des vecteurs.

1° *Force instantanée périodique appliquée à une oscillation pendulaire simple.* — Considérons d'abord le cas extrême où l'amortissement est nul : à une époque donnée, représentée par l'angle $\omega = y\text{OM}$ (*fig.* 1), l'oscillation étant figurée par le vecteur OM (dont l'abscisse OP mesure le déplacement et l'ordonnée PM, divisée par K, la vitesse), la force instantanée accroît brusquement la vitesse PM de MM′, sans que le déplacement OP soit modifié ; l'oscillation subséquente est représentée par la projection du point M′ qui décrit le cercle de rayon OM′ d'un mouvement uniforme tel que, après le temps T, le point M′ revient en M′ et le dépasse si le système reste libre.

Mais, au bout du temps $\Theta$ (la figure suppose $\Theta > T$), lorsque M′ est arrivé en $M_1$, une nouvelle percussion a lieu qui ajoute à l'ordonnée de $M_1$ l'accroissement constant $M_1 M'_1 = u$, et ainsi de suite. On voit que, à chaque percussion, l'amplitude OM et la

---

avec le déplacement $\theta$ et la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$ multipliée par le facteur indéterminé K

$$\theta = \mathcal{A} e^{-\alpha t} \sin 2\pi \frac{t}{T}, \qquad \frac{d\theta}{dt} = \mathcal{A} e^{-\alpha t}\left(-\alpha \sin 2\pi \frac{t}{T} + \frac{2\pi}{T} \cos 2\pi \frac{t}{T}\right)$$

(l'origine du temps coïncidant avec une époque où le déplacement est nul) ; on a à identifier

$$\left.\begin{aligned} x &= \theta, \\ y &= k\frac{d\theta}{dt} \end{aligned}\right\} \quad \text{avec} \quad \frac{x}{\sin\omega} = \frac{y}{\sin(\zeta - \omega)} = \frac{\rho}{\sin\zeta};$$

on trouve

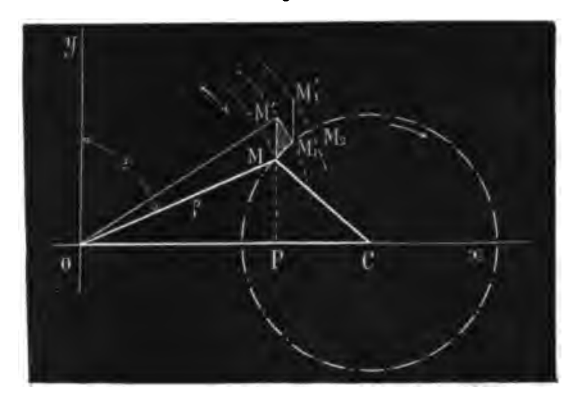
$$\beta = \alpha, \qquad \omega = 2\pi \frac{t}{T}, \qquad A = \mathcal{A} \sin\zeta,$$

ainsi que (8) et (9). (Voir *Annales de l'Observatoire*, Mémoires, t. XIII. p. A. 161.)

phase sont modifiées de quantités différentes suivant l'angle $\omega$, ce qui constitue un régime variable pour le mouvement oscillatoire du système.

Ce régime variable serait entièrement défini si l'on connaissait la loi de variation avec le temps de l'amplitude et de la phase. Le mode actuel de représentation, qui peint si bien les altérations élémentaires dues à chaque percussion, fournit aussi une image très simple du régime variable. En effet, cherchons le lieu du point M et la vitesse moyenne avec laquelle ce point s'y déplace;

Fig. 1.




grâce aux hypothèses admises sur la petitesse relative de l'accroissement de la vitesse et de la différence des périodes, on peut traiter les longueurs $MM' = u$ et $M'M_1 = \rho(\Theta - T)\frac{2\pi}{T}$ comme des différentielles, l'élément de temps étant la période $\Theta$. Joignant $MM_1$, on forme un triangle infinitésimal dont les côtés $MM'$ et $M'M_1$ sont respectivement perpendiculaires à OP et OM; si l'on mène la droite MC perpendiculaire au troisième côté $MM_1$, on obtient un triangle fini COM qui reste toujours semblable au premier; les relations de similitude donnent

$$(10)\qquad \frac{M'M_1 = 2\pi\rho\dfrac{\Theta - T}{T}}{OM = \rho} = \frac{M'M = u}{OC} = \frac{MM_1}{MC},$$

$$\text{d'où}\quad \left\{\begin{aligned} OC &= \frac{uT}{2\pi(\Theta - T)}, \\ \frac{1}{\Theta}\frac{MM_1}{MC} &= \frac{2\pi}{T}\frac{\Theta - T}{\Theta}. \end{aligned}\right.$$

Ainsi le côté OC est constant; la normale à l'élément $MM_1$ passe donc toujours par un point fixe : le lieu cherché est donc un cercle. En outre, le rapport au rayon CM de l'arc $MM_1$, censé décrit pendant la période $\Theta$, est constant.

Si, pour abréger, on désigne sous le nom d'*indicatrice de synchronisation* le lieu précédent, qui définit la loi de variation avec le temps de l'amplitude et de la phase pendant le régime variable, on en conclura :

*Dans le cas de l'oscillation pendulaire simple de période* T, *modifiée par une force instantanée u de période* $\Theta$, *peu différente de* T, *l'indicatrice de synchronisation est un cercle dont le centre, situé sur l'axe représentatif des déplacements à une distance de l'origine égale à* $\frac{u}{2\pi}\frac{T}{\Theta - T}$, *est décrit avec une vitesse angulaire uniforme* $\frac{2\pi}{\varpi} = 2\pi\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{\Theta}\right)$.

*Le rayon du cercle dépend de l'amplitude et de la phase initiales.*

On reconnaît que l'amplitude varie périodiquement avec le temps, comme les rayons vecteurs de l'origine menés à ce cercle, et que la période est $\varpi$. Le système oscillant exécute donc de véritables *battements :* le régime variable subsiste indéfiniment et le régime stable ne peut jamais s'établir. Nous retrouvons ici le résultat prévu par la théorie générale, à savoir que le régime stable ne peut s'établir qu'avec une oscillation amortie.

La phase varie aussi périodiquement, mais de deux manières, très différentes suivant le rayon du cercle indicateur. Si l'origine est extérieure au cercle, cette phase, mesurée par l'angle du vecteur avec la ligne du centre, oscille entre les valeurs angulaires correspondant aux tangentes menées de l'origine au cercle : il y a donc une sorte de synchronisation périodique avec une erreur alternativement positive et négative. Si, au contraire, l'origine est intérieure au cercle indicateur, la phase varie d'une manière continue avec le temps : le système perd ou gagne une période T à chaque période $\varpi$, suivant le sens de la description du cercle. Le système échappe donc à la liaison synchronique, et la synchronisation, même imparfaite, du cas précédent, est impossible.

Il importe de remarquer cette conséquence curieuse que, l'impulsion synchronisante restant la même, le choix des conditions initiales peut conduire à l'une ou à l'autre de ces deux espèces de régimes périodiques.

*Remarque.* — Pour la simplicité de la démonstration, on a supposé une force à la fois instantanée et très petite : on démontre aisément que ces deux restrictions ne sont pas nécessaires, à la condition de remplacer l'intensité $u$ de la percussion par le produit du moment de la force (constante pendant l'intervalle de temps $2\delta$) par deux fois le sinus de $\frac{\pi\delta}{T}$ et l'époque de la percussion par l'époque moyenne de l'action.

2° *Force instantanée périodique appliquée à une oscillation faiblement amortie.* — A l'époque $\omega$, l'oscillation est figurée par le vecteur OM (*fig.* 2) : l'accroissement MM′ de la vitesse est porté sur l'ordonnée oblique PM ; le déplacement de M′, représentatif de l'oscillation subséquente, s'effectue non pas sur un cercle M′M″, mais sur un arc de spirale logarithmique $\rho = A e^{-\alpha t}$ qui, au bout du temps $\Theta$, aboutit en $M_1$. L'amortissement très petit produit la diminution $M''M_1$ du rayon vecteur, diminution qu'on regardera aussi comme une différentielle et qu'on calculera en développant l'exponentielle à l'approximation convenue :

$$M''M_1 = -\rho\alpha\Theta.$$

On obtient ainsi un triangle infinitésimal $MM'M_1$ et l'on construit aisément un triangle fini qui lui reste semblable, OMC, dont les côtés sont respectivement inclinés sur ceux du premier d'un même angle $\gamma = M'M_1M''$ : cet angle $\gamma$, évidemment invariable, est donné par l'expression

$$(11)\qquad \operatorname{tang}\gamma = \frac{M'M''}{M_1M''} = \frac{2\pi\frac{\Theta - T}{T}}{\alpha\Theta}, \qquad \sin\gamma = \frac{2\pi\frac{\Theta - T}{T}}{\sqrt{\alpha^2\Theta^2 + 4\pi^2\left(\frac{\Theta - T}{T}\right)^2}}.$$

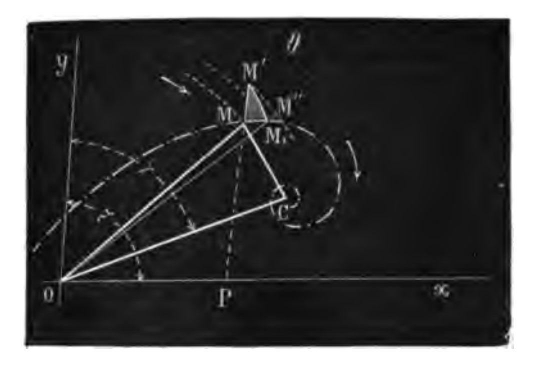
Les relations de similitude donnent

$$(12)\qquad \frac{M'M_1 = \rho\sqrt{\alpha^2\theta^2 + 4\pi^2\left(\frac{\theta - T}{T}\right)^2}}{OM = \rho} = \frac{M'M = u}{OC} = \frac{MM_1}{MC},$$

d'où

$$\begin{cases} OC = \dfrac{u}{\sqrt{\alpha^2\theta^2 + 4\pi^2\left(\frac{\theta - T}{T}\right)^2}} \\ \dfrac{\sin\gamma}{\theta}\dfrac{MM_1}{MC} = \dfrac{\sin\gamma}{\theta}\sqrt{\alpha^2\theta^2 + 4\pi^2\left(\frac{\theta - T}{T}\right)^2}. \end{cases}$$

Fig. 2.




Il résulte de la valeur constante de OC que le lieu du point M est une courbe dont le rayon vecteur MC, passant par un point fixe C, coupe la courbe sous l'angle constant $\gamma$. Donc :

*Dans le cas de l'oscillation faiblement amortie de période* T, *modifiée par une force instantanée u de période* $\theta$, *peu différente de* T, *l'indicatrice de synchronisation est une spirale logarithmique dont le point asymptotique est situé à une distance de l'origine égale à*

$$(13)\qquad \mathfrak{R} = \frac{u}{\sqrt{\alpha^2\theta^2 + 4\pi^2\left(\frac{\theta - T}{T}\right)^2}} = \frac{uT}{2\pi(\theta - T)}\sin\gamma,$$

*sur une droite faisant avec l'axe représentatif des vitesses le*

*même angle* $\gamma$,

$$(14)\qquad \operatorname{tang}\gamma = \frac{2\pi}{\alpha\Theta}\,\frac{\Theta - T}{T} = \frac{2\pi}{\alpha\mathfrak{T}},$$

*que la spirale fait avec le rayon vecteur du point asymptotique.*

*Elle est décrite par ce rayon vecteur avec une vitesse angulaire constante* $\frac{2\pi}{\mathfrak{T}}$.

L'existence d'un point asymptotique démontre intuitivement que le mouvement tend vers un régime stable, c'est-à-dire vers une oscillation pendulaire simple représentée par le vecteur OC du point asymptotique : l'amplitude limite est donc $\mathfrak{A}$ et la phase limite $2\pi\Phi = \gamma$, expressions (13) et (14).

La vérification de la théorie générale est donc complète ; elle va même plus loin qu'on ne pourrait s'y attendre, car elle s'étend jusqu'à l'identification des expressions (13) et (14) respectivement avec (5) et (6) (p. 447) : il suffit, en effet, dans ces dernières, de négliger $\alpha^2T^2$ ou $\alpha^2\Theta^2$ devant $4\pi^2$ et $\Theta - T$ devant T ou $\Theta$. Cette identification prouve que la percussion instantanée équivaut ici à une force périodique pendulaire.

La discussion de la spirale indicatrice montre que, pendant le régime variable, il peut se présenter deux cas différents suivant que les volutes de la spirale parcourues par le point représentatif embrassent ou non l'origine : le système oscillant peut donc, pour certaines conditions initiales, échapper d'abord complètement à la liaison synchronique; mais la synchronisation parvient toujours à s'établir, d'abord imparfaite et périodique, finalement parfaite et stable.

*Vérifications expérimentales.* — En raison de l'importance et de la simplicité de ces résultats, j'ai cherché une vérification expérimentale décisive : j'ai pensé qu'elle ne laisserait rien à désirer si le système oscillant enregistrait lui-même son indicatrice de synchronisation. L'application de la méthode optique et des phénomènes décrits précédemment (p. 146 et suiv.), jointe à l'emploi de la Photographie, m'ont permis d'atteindre ce résultat.

Le système oscillant choisi est un lourd pendule battant à peu

près la seconde ($T = 2^s \pm \varepsilon$) ; les oscillations sont amorties par un barreau aimanté, fixé transversalement à la tige, dont l'un des pôles oscille dans l'axe d'un tube de cuivre rouge, ou mieux d'un solénoïde à circuit fermé : cette dernière disposition permet de faire varier le coefficient d'amortissement (d'ailleurs toujours très faible) entre de grandes limites, par l'intercalation de résistances extérieures. La force synchronisante est produite par l'action d'un courant électrique envoyé toutes les deux secondes ($\Theta = 2^s$) par une horloge astronomique ; ce courant traverse un solénoïde enveloppant l'autre pôle de l'aimant précité et l'attire périodiquement pendant une fraction de seconde. Un miroir plan, fixé au couteau de suspension, permet de faire réfléchir un rayon lumineux dans un plan vertical et d'obtenir une déviation proportionnelle au déplacement angulaire $\theta$ du pendule ; il reste à produire, à l'aide d'un appareil auxiliaire, une déviation horizontale proportionnelle à la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$ et à composer ces déviations.

Cet appareil n'est autre qu'un galvanomètre à miroir, du type Deprez-d'Arsonval, à cadre très léger, recevant le courant induit par les pôles de deux longues aiguilles d'acier aimanté, fixées au bas du pendule et oscillant dans l'axe de quatre longs solénoïdes. Les éléments de ce galvanomètre ont été choisis de manière que le régime stable d'oscillation du cadre reproduise aussi fidèlement que possible à chaque instant la vitesse d'oscillation du pendule.

La reproduction exacte est théoriquement impossible, puisqu'il existe inévitablement une différence de phase entre la force synchronisante et le mouvement synchronisé (*voir* p. 144) ; mais, par un choix convenable de la durée d'oscillation propre du galvanomètre ($\frac{1}{2}$ seconde) et l'affaiblissement suffisant de son coefficient d'amortissement ([1]), on peut réduire la différence de phase à une fraction négligeable.

Dans l'appareil ainsi combiné, le régime stable est atteint en cinq ou six secondes, et la déviation du galvanomètre est à chaque

---

([1]) Le galvanomètre a une résistance propre de 55 ohms, les quatre solénoïdes de 15 ohms; on ajoute 30 ohms environ pour réduire l'ellipse à un cercle, ce qui fait 100 ohms de résistance totale ; dans ces conditions, le coefficient d'amortissement $\alpha$ est 0,6 (unités C.G.S.); le tube de fer intérieur au cadre du galvanomètre a été supprimé.



instant sensiblement proportionnelle à la vitesse angulaire du pendule.

L'image d'une étincelle d'induction condensée éclatant entre deux pôles de magnésium, réfléchie sur les deux miroirs, se déplace suivant une ellipse qu'on ramène aisément à un cercle en intercalant une résistance convenable dans le circuit du galvanomètre. Une plaque photographique au gélatinobromure, placée au foyer de la lunette d'observation, garde la trace de ces impressions successives ; comme l'amplitude varie sans cesse, on obtient non pas des cercles mathématiques, mais des spires très serrées : la forme sensiblement circulaire de ces courbes est une vérification très délicate du réglage de l'appareil. Pour obtenir le tracé automatique de l'indicatrice, il suffit d'ajouter devant la source un obturateur manœuvré par un électro-aimant qui ne découvre la source lumineuse qu'au moment où le courant synchronisant passe dans l'électro-aimant. Il en résulte que le tracé de chaque cercle se réduit à un point, si le courant est instantané, et ce point est précisément celui dont on cherche le lieu. La juxtaposition de tous ces points forme une courbe en apparence continue qui réalise la définition de l'*indicatrice de synchronisation*.

La *fig.* 3 est la reproduction en négatif, *sans aucune retouche,* d'un de ces clichés par les procédés de M. Dujardin ; la droite verticale a été obtenue en faisant osciller le pendule seul, galvanomètre hors circuit ; l'horizontale, en faisant osciller le galvanomètre par une impulsion auxiliaire, le pendule étant au repos : ce sont les axes des déplacements et des vitesses, ils sont sensiblement rectangulaires ($\zeta = 90^\circ$ à fort peu près).

La spirale indicatrice a été obtenue de la manière suivante : le pendule étant au repos, on lance le courant synchronisant, qui met le pendule en oscillation ; lorsque l'amplitude est devenue suffisante, on commence l'enregistrement photographique. Il a été poursuivi pendant vingt minutes environ, ce qui correspond à deux périodes $\varpi$ ou à deux spires de l'indicatrice (ici $T > \Theta$) ; en prolongeant l'expérience, on finirait par atteindre le point asymptotique.

La spirale est double sur la *fig.* 3, parce que le signal électromagnétique était double ; cela tient à ce que l'impulsion, au lieu d'être instantanée, durait environ $\frac{1}{3}$ de période : l'obturateur, percé

d'une fente, livrait passage deux fois à la lumière, au début et à la fin du courant.

La vérification n'en est pas moins précise; car, d'après une remarque précédente, une action de durée finie équivaut, dans le cas de l'oscillation pendulaire simple, à une impulsion instantanée agissant à l'époque moyenne de l'action; l'amortissement étant

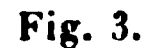


Fig. 3.



très faible, on peut, sans erreur appréciable, étendre ce résultat au cas de l'expérience actuelle ([1]). Les spirales sont simplement déplacées par rotation autour de l'origine.

La *fig.* 4 offre un autre mode de vérification. Cette courbe a été obtenue avec le même dispositif que la précédente, seulement le courant synchronisant n'agissait plus sur le pendule qui oscillait librement suivant une amplitude décroissant avec le temps : on démontre aisément qu'alors le lieu des extrémités du vecteur aux époques $\Theta$, $2\Theta$, ..., $n\Theta$ de l'oscillation amortie de période T est une *spirale logarithmique, concentrique à l'origine*, ayant le

([1]) C'est ce qu'on vérifie en traitant la question par une troisième méthode : on écrit sans aucune restriction les équations de condition du mouvement oscillatoire sous l'influence d'une force constante, de durée $2\delta$, agissant à l'époque moyenne $t$, $t+\Theta$, $t+2\Theta$, .... Les calculs se simplifient beaucoup par l'emploi des exponentielles imaginaires, qui représentent les propriétés des vecteurs. On

même paramètre $\gamma$ que l'indicatrice. Les cercles qui l'encadrent sont les cercles décrits ci-dessus lorsque l'obturateur est arrêté (le pointillé est dû à la succession rapide des étincelles : il donne la période du trembleur de la bobine d'induction) ([1]).

Fig. 4.



L'identité expérimentale des deux spirales (elles sont rigoureusement superposables) est une vérification importante parce que la première, ou indicatrice, comporte la rigueur des actions dynamiques de la force synchronisante sur le pendule, tandis que la seconde (spirale concentrique) est une représentation purement

---

arrive aisément à l'expression de l'amplitude $\mathcal{A}$ et de la phase $\Phi$ limites,

$$(15) \qquad \mathcal{A} = c\sqrt{\frac{e^{2\alpha\delta} + e^{-2\alpha\delta} - 2\cos\frac{4\pi\delta}{T}}{1 - e^{-2\alpha\Theta} - 2e^{-\alpha\Theta}\cos\frac{2\pi\Theta}{T}}},$$

$$(16) \qquad \Phi = H - \Psi + \frac{\zeta}{2\pi} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{tang}\, 2\pi H = \dfrac{e^{-\alpha\Theta}\sin\frac{2\pi\Theta}{T}}{1 - e^{-\alpha\Theta}\cos\frac{2\pi\Theta}{T}}, \\ \text{tang}\, 2\pi\Psi = \dfrac{e^{\alpha\delta} + e^{-\alpha\delta}}{e^{\alpha\delta} - e^{-\alpha\delta}}\,\text{tang}\,\frac{2\pi\delta}{T}. \end{array} \right.$$

Elles se réduisent ici, où $\alpha$ et $\delta$ sont petits, aux expressions (13) et (14).

([1]) Les clichés originaux ont été projetés devant la Société de Physique.

cinématique où l'action de la force auxiliaire n'intervient plus. Le tracé de la seconde réussit toujours; celui de la première exige une grande régularité dans la durée et l'intensité de la force synchronisante. A chaque variation d'intensité, il se forme un point anguleux sur l'indicatrice, parce qu'il se produit un arc d'une nouvelle spirale, de même paramètre, il est vrai, mais correspondant à un point asymptotique différent.

---

## *Recherches sur la densité de l'acide sulfureux à l'état de liquide et de vapeur saturée;* par MM. Cailletet et Mathias.

Nous avons exposé dans un Mémoire antérieur (1) nos recherches sur les densités du protoxyde d'azote, de l'éthylène et de l'acide carbonique à l'état de liquide et de vapeur saturée. Afin de généraliser la méthode que nous avons employée, il était nécessaire de l'appliquer à l'étude de corps dont le point critique fût beaucoup plus élevé que celui des gaz que nous avons étudiés. Nous avons choisi dans ce but l'acide sulfureux, dont le point critique est voisin de 156°.

I. *Densité de la vapeur saturée.* — L'appareil que nous avons employé est le même que celui qui nous a servi dans notre premier travail. Nous avons dû seulement modifier nos procédés de chauffage de façon à atteindre la température de 160° par des élévations successives, et à maintenir chaque température constante pendant la durée d'une expérience.

Pour les températures inférieures à 80°, nous employons des circulations d'eau chaude dont nous réglons la vitesse; on obtient ainsi au bout d'un temps plus ou moins long un régime permanent pendant lequel on effectue les mesures. Pour les températures supérieures à 80°, nous employons des circulations de vapeurs de corps bouillant à des températures constantes. Avec l'eau, l'alcool amylique *du commerce* et l'alcool ordinaire, nous obtenons les températures voisines de 100°, 91°, 78°; avec le toluène, l'alcool amylique *pur*, le xylène, nous obtenons 110°, 128°, — 130° et les

(1) *Séances de la Soc. de Phys.*, année 1886, p. 171.

températures voisines de 140°. Pour avoir toutes les températures intermédiaires, supérieures à 120°, nous nous servons des pétroles obtenus par des distillations fractionnées de pétrole brut d'Amérique ([1]). Ajoutons que, pour diminuer l'influence du rayonnement, le manchon concentrique au tube à densité est entouré dans toute sa longueur d'un feutre épais ne laissant que deux fenêtres diamétrales qui permettent de faire les observations.

L'acide sulfureux est préparé par l'action de l'acide sulfurique concentré sur le mercure. Le gaz, lavé dans une petite quantité d'eau, se sèche en traversant une colonne de $2^m$ de ponce sulfurique à l'extrémité de laquelle est fixé, au moyen d'un masticage, le tube laboratoire qui doit contenir le gaz pur et sec. Nos recherches exigeant des corps d'une grande pureté, nous balayons l'air contenu dans l'appareil en faisant dégager $SO^2$ pendant un temps assez long, et, pour faciliter le départ des traces d'air qui pourraient rester dans la ponce, nous faisons le vide à plusieurs reprises dans les tubes desséchants. Avec ces précautions nous obtenons un gaz ne renfermant plus, comme nous nous en sommes assurés, qu'une trace insignifiante et entièrement négligeable d'un gaz non absorbable par la potasse ([2]). On remplit alors le tube laboratoire comme il est indiqué dans notre précédent Mémoire.

Nous avons fait quarante déterminations de la densité de vapeur saturée avec trois échantillons de gaz différents, et des tubes à densité différents. Voici, à titre de renseignement, les dimensions de ces tubes. Les tiges avaient $1^m$ de long, une capacité de $2^{cc}$ à $2^{cc},5$ et portaient de 1600 à 1800 divisions. Les trois tubes, ayant servi de 156° à 80°, de 80° à 28° et de 35° à 0°, avaient respectivement pour réservoir $32^{cc},2$, $6^{cc},0$ et $1^{cc}$ seulement.

Le gaz qui nous a servi à haute température étant extrêmement pur, nous avons déterminé son point critique. Nous avons trouvé que le liquide disparaît au voisinage de + 156°,0, c'est-à-dire à une température un peu supérieure à celle de + 155°,4 observée par M. Sajotchewsky ([3]). On sait d'ailleurs qu'il suffit d'une très

([1]) Nous remercions M. Friedel de l'obligeance avec laquelle il a mis à notre disposition ses appareils distillatoires.

([2]) Moins d'un millième.

([3]) *Wied. Beibl.*, t. III, p. 741; 1879.

petite quantité d'air pour abaisser d'une façon sensible la température critique. Voici les densités que nous avons observées; elles sont rapportées à l'eau à + 4° :

| t°. | Densités. | t°. | Densités. |
|---|---|---|---|
| + 7°,3 | 0,00624 | +109°,7 | 0,09541 |
| 8,9 | 0,00660 | 123,0 | 0,1340 |
| 10,6 | 0,00703 | 125,0 | 0,1422 |
| 12,2 | 0,00737 | 128,0 | 0,1511 |
| 16,5 | 0,00858 | 129,75 | 0,1593 |
| 22,0 | 0,01019 | 130,0 | 0,1607 |
| 24,7 | 0,01127 | 134,0 | 0,1736 |
| 28,2 | 0,01226 | 135,0 | 0,1888 |
| 28,8 | 0,01312 | 137,0 | 0,2040 |
| 31,2 | 0,01338 | 139,5 | 0,2154 |
| 34,9 | 0,01553 | 141,5 | 0,2272 |
| 37,5 | 0,01690 | 142,0 | 0,2336 |
| 41,1 | 0,01905 | 144,0 | 0,2496 |
| 45,4 | 0,02187 | 145,5 | 0,2667 |
| 49,6 | 0,02340 | 146,5 | 0,2774 |
| 55,4 | 0,02805 | 147,5 | 0,2842 |
| 58,2 | 0,03107 | 149,0 | 0,2972 |
| 78,7 | 0,04640 | 152,5 | 0,3426 |
| 91,0 | 0,06264 | 153,9 | 0,3663 |
| 100,6 | 0,07866 | 154,9 | 0,4017 |

Les résultats obtenus montrent que la méthode s'applique à l'étude des corps à point critique élevé; son exactitude n'est limitée que par la présence de la vapeur de mercure dont la tension ne devient sensible qu'au-dessus de 200°.

II. *Densité de l'acide sulfureux liquide.* — Nous avons employé d'abord le tube en O qui nous avait servi dans nos premières expériences; mais, à raison de la facilité avec laquelle on peut remplir un thermomètre d'acide sulfureux liquide, nous nous sommes servis de la méthode thermométrique pour les recherches que nous publions aujourd'hui.

Déjà Isidore Pierre (¹) avait mesuré la dilatation de l'acide sulfureux de — 30° à — 8° et Andréeff (²) de — 10° à + 40°. De son

(¹) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3ᵉ série, t. XXI, p. 336; 1847.
(²) *Ibid.*, 3ᵉ série, t. LVI, p. 317; 1859.

côté, Drion ([1]) avait étudié sa dilatation apparente de 0° à + 130° en se servant d'un thermomètre *métastatique*. Nous avons voulu compléter l'étude de la dilatation de l'acide sulfureux liquide entre 130° et le point critique, et vérifier si la méthode du thermomètre métastatique fournit des résultats exacts à haute température.

Drion admettait, en effet, que « dans un thermomètre métastatique n'ayant qu'une dizaine de degrés de course environ, si le bec de déversement a une longueur suffisante et un diamètre assez petit, on peut admettre comme *évident* que la portion de liquide renfermé dans le réservoir supérieur fournit seule la vapeur nécessaire à la saturation de cet espace ». Contrairement à l'avis de ce savant, on peut penser que, si bien agité que soit le bain où plonge le thermomètre à densité, les élévations de température se produisant par la partie inférieure, le liquide qui est dans la tige du thermomètre émettra de la vapeur saturée avant celui de l'ampoule, que par suite on observera une dilatation un peu trop faible, d'où l'on déduira une densité un peu trop grande. Si cela est, l'erreur devra aller en augmentant avec la température, et devra être surtout appréciable au moment où la densité de la vapeur saturée devient notable.

Les thermomètres que nous avons fait construire sont à parois épaisses, de façon à réduire autant que possible l'augmentation de volume sous l'influence de la pression intérieure; les réservoirs étaient des cylindres à bouts hémisphériques. Connaissant leurs dimensions, il est facile, au moyen des formules connues de l'élasticité, de calculer leur déformation et de voir si elle est négligeable. En particulier, le thermomètre qui nous a servi à étudier la dilatation jusqu'au point critique était en cristal blanc. Voici ses dimensions :

*Tige.*

| | cm |
|---|---|
| Diamètre intérieur.............. | 0,30 |
| Épaisseur des parois..... ...... | 0,22 |
| Longueur...................... | 35,0 |

([1]) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LVI, p. 1; 1859.

*Réservoir.*

| | cm |
|---|---|
| Diamètre intérieur .............. | 0,50 |
| Épaisseur des parois ............. | 0,30 |
| Longueur totale.................. | 7,50 |

Le calcul montre ([1]) qu'au point critique l'augmentation du volume est d'environ $\frac{1}{2000}$, c'est-à-dire qu'elle ne modifie que le quatrième chiffre décimal. Il n'y a donc pas lieu de s'en préoccuper.

Les tubes thermométriques sont soigneusement jaugés et calibrés. Les volumes apparents du liquide sont observés au moyen d'une lunette; la mesure de la flèche du ménisque permet, en supposant sa courbure circulaire et connaissant le diamètre intérieur de la tige, de faire la correction capillaire. Le poids total du liquide et de la vapeur est connu par la pesée du thermomètre vide et plein. Le côté nouveau de nos recherches consiste dans la correction *exacte* du poids de la vapeur saturée déduit de l'observation de son volume et de la connaissance de la densité déterminée expérimentalement.

Le tube thermométrique est plongé dans un bain chauffé au bain de sable. Le bain est formé d'eau au-dessous de 100°; on remplace ce liquide par de la paraffine pour l'étude des densités aux températures supérieures à 100°. Ce liquide est très transparent, mais il nécessite une agitation énergique, car il est peu conducteur de la chaleur.

---

([1]) Si l'on admet comme coefficient d'élasticité du cristal le nombre $q = 5588$ trouvé par Chevandier et Wertheim sur un échantillon de cristal blanc de Baccarat (*Ann. de Chim.*, 3e série, t. XIX, p. 134; 1847) qui s'accorde très bien avec les coefficients d'élasticité de cinq tubes en cristal déterminés d'après leurs vibrations longitudinales par Wertheim (*Ann. de Chim.*, 3e sér., t. XXIII, p. 71; 1848), on tire de là la valeur du coefficient de compressibilité linéaire $\alpha$,

$$\alpha = 0,000\,000\,001\,789,$$

les pressions étant exprimées en grammes par centimètre carré.

Connaissant la pression critique de l'acide sulfureux, qui est de $78^{atm},9$ d'après Sajotchewsky, on calcule aisément l'augmentation proportionnelle de volume de la tige et du réservoir. On trouve ainsi:

| | |
|---|---|
| Pour la tige......... | 0,000485 |
| Pour le réservoir.... | 0,000511 |

Le coefficient de dilatation de l'enveloppe thermométrique est déterminé à la manière ordinaire (1). Nous avons fait deux séries d'expériences avec deux tubes différents; les nombres obtenus sont les suivants :

*Première série.*

| t°. | Densités. |
|---|---|
| 0,00 ........ | 1,4338 |
| +13,05 ........ | 1,3964 |
| 21,70 ........ | 1,3757 |
| 29,50 ........ | 1,3537 |
| 35,20 ........ | 1,3374 |
| 45,00 ........ | 1,3082 |
| 55,00 ........ | 1,2872 |

*Deuxième série.*

| t°. | Densités. |
|---|---|
| 0,00.......... | 1,4355 |
| 62,00.......... | 1,2523 |
| 82,40.......... | 1,1845 |
| 89,20.......... | 1,1589 |
| 97,55.......... | 1,1237 |
| 102,40.......... | 1,1041 |
| 107,20.......... | 1,0817 |
| 113,30.......... | 1,0545 |
| 120,45.......... | 1,0166 |
| 126,35.......... | 0,9810 |
| 130,30.......... | 0,9560 |
| 133,05.......... | 0,9349 |
| 137,25.......... | 0,8997 |
| 140,80.......... | 0,8690 |
| 143,75.......... | 0,8392 |
| 146,60.......... | 0,8065 |
| 149,56.......... | 0,7677 |
| 151,75.......... | 0,7317 |
| 153,00.......... | 0,7067 |
| 154,30.......... | 0,6706 |
| 155,05.......... | 0,6370 |

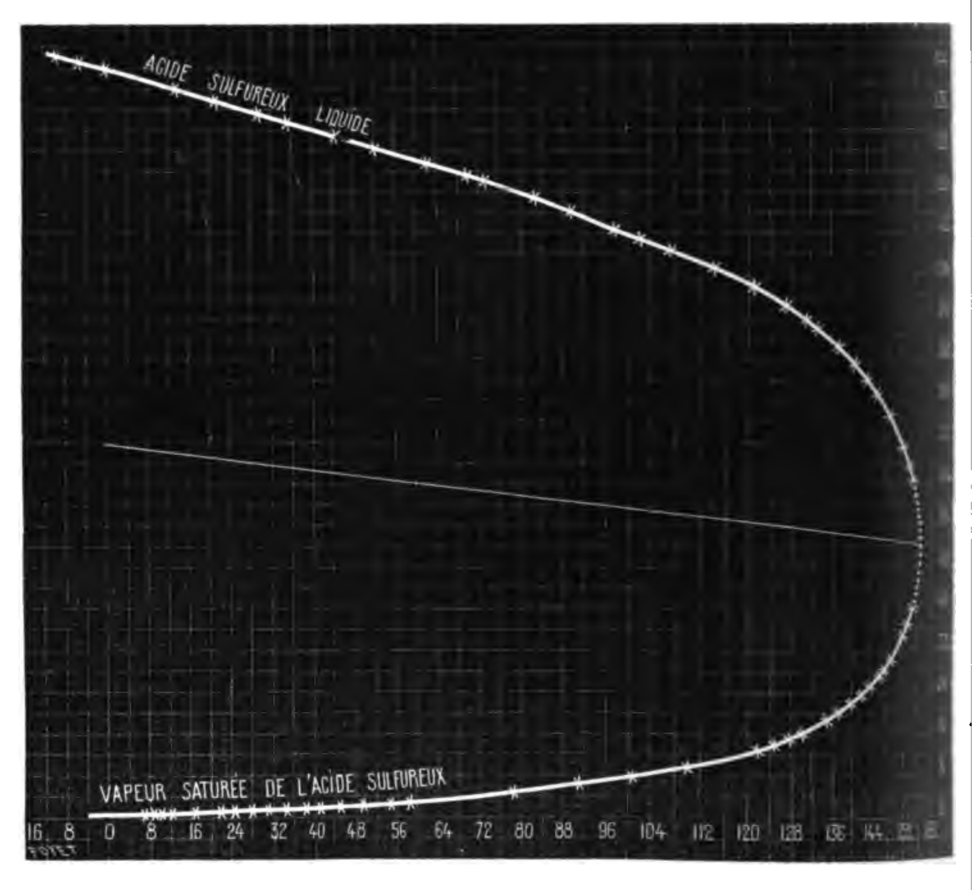
Si l'on construit les courbes ayant pour abscisses les températures et pour ordonnées les deux sortes de densités, en joignant par un trait continu les points obtenus, on a deux courbes se raccordant au point critique, ce qui montre bien que la densité du liquide et celle de la vapeur saturée ont une limite commune, contrairement à la conclusion d'Avénarius (2).

---

(1) Si l'on se reporte aux dimensions du thermomètre en cristal blanc qui nous a servi au point critique, on s'assurera facilement qu'il était d'une sensibilité très faible comme thermomètre à mercure. La détermination du coefficient de dilatation de l'enveloppe est nécessairement peu précise; le nombre obtenu étant voisin de celui donné par Regnault pour le cristal de Choisy, c'est ce dernier nombre que l'on a introduit dans les calculs. L'incertitude qui en résulte est négligeable même à 150°.

(2) *Mémoires de l'Acad. des Sciences de Saint-Pétersbourg;* 1876-77.

La considération du diamètre conjugué des cordes verticales, qui est ici presque rigoureusement rectiligne, permet de déterminer graphiquement ou par le calcul la densité critique, qu'on trouve ainsi être égale à 0,520.




Afin de comparer nos nombres à ceux des expérimentateurs qui nous ont précédés, nous avons mesuré de 5° en 5° les densités du liquide sur le tracé graphique. La comparaison est faite dans le Tableau suivant, où sont réunies toutes les données expérimentales connues sur la densité de l'acide sulfureux liquide.

| t°. | Isidore Pierre. | Andréeff. | Cailletet et Mathias. | Drion. |
|---|---|---|---|---|
| — 30,0 ... | 1,5128 | » | » | » |
| — 25,0 ... | 1,5020 | » | » | » |
| — 20,0 ... | 1,4899 | » | » | » |
| — 15,0 ... | 1,4777 | » | » | » |
| — 10,0 ... | 1,4639 | 1,4616 | » | » |
| — 5,0 ... | » | 1,4476 | » | » |
| 0,0 ... | » | 1,4336 | 1,4340 | 1,4340 (admis) |
| + 5,0 ... | » | 1,4195 | 1,4203 | » |
| 10,0 ... | » | 1,4055 | 1,4066 | 1,4085 |
| 15,0 ... | » | 1,3914 | 1,3929 | » |
| 20,0 ... | » | 1,3774 | 1,3792 | 1,3821 |
| 25,0 ... | » | 1,3633 | 1,3655 | » |
| 30,0 ... | » | 1,3492 | 1,3505 | 1,3545 |
| 35,0 ... | » | 1,3351 | 1,3365 | » |
| 40,0 ... | » | 1,3210 | 1,3220 | 1,3260 |
| 45,0 ... | » | » | 1,3075 | » |
| 50,0 ... | » | » | 1,2920 | 1,2964 |
| 55,0 ... | » | » | 1,2760 | » |
| 60,0 ... | » | » | 1,2595 | 1,2655 |
| 65,0 ... | » | » | 1,2432 | » |
| 70,0 ... | » | » | 1,2268 | 1,2330 |
| 75,0 ... | » | » | 1,2101 | » |
| 80,0 ... | » | » | 1,1929 | 1,1983 |
| 85,0 ... | » | » | 1,1748 | » |
| 90,0 ... | » | » | 1,1554 | 1,1609 |
| 95,0 ... | » | » | 1,1348 | » |
| 100,0 ... | » | » | 1,1134 | 1,1206 |
| 105,0 ... | » | » | 1,0920 | » |
| 110,0 ... | » | » | 1,0695 | 1,0763 |
| 115,0 ... | » | » | 1,0457 | » |
| 120,0 ... | » | » | 1,0188 | 1,0258 |
| 125,0 ... | » | » | 0,9898 | » |
| 130,0 ... | » | » | 0,9575 | 0,9665 |
| 135,0 ... | » | » | 0,9188 | » |
| 140,0 ... | » | » | 0,8760 | » |
| 145,0 ... | » | » | 0,8240 | » |
| 150,0 ... | » | » | 0,7588 | » |
| 152,0 ... | » | » | 0,7256 | » |
| 153,0 ... | » | » | 0,7062 | » |
| 154,0 ... | » | » | 0,6790 | » |
| 155,0 ... | » | » | 0,6370 | » |
| 155,5 ... | » | » | 0,6000 | » |
| 156,0 ... | » | » | 0,520 | » |

Isidore Pierre n'a donné dans son Mémoire qu'une densité ([1]), celle de $-20°,48$, qui est de $1,4911$; cela étant, on peut calculer toutes les autres, puisque la dilatation du liquide est connue. C'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres de la première colonne.

Quant aux nombres de la quatrième colonne, ils ont été obtenus de la même façon, en se servant des volumes *apparents* de Drion et de la densité à 0° prise égale à 1,4340 ([2]). Les densités tirées des expériences de Drion sont donc trop fortes; la quantité qu'il faut leur retranchér pour les comparer aux nombres des autres colonnes s'obtient en les multipliant par $\frac{kt}{1+kt}$, $k$ étant le coefficient de dilatation cubique du verre du thermomètre. Si l'on fait cette correction en adoptant pour $k$ une valeur moyenne, $\frac{1}{38000}$ par exemple, on constate que nos nombres sont toujours compris entre ceux d'Andréeff et ceux de Drion, et plus voisins des premiers que des seconds. On voit, de plus, que pour les températures supérieures à $+40°$ les densités de Drion continuent à être plus grandes que les nôtres de quantités qui croissent avec la température, ce qui confirme nos prévisions. A $+130°$ la différence atteint six unités du troisième ordre, c'est-à-dire qu'elle est environ $\frac{1}{150}$ de la densité du liquide. La méthode du thermomètre *métastatique* n'est donc pas suffisante pour faire disparaître la cause d'erreur provenant de la vaporisation du liquide, surtout au voisinage du point critique.

III. *Coefficient de dilatation et chaleur latente de vaporisation de l'acide sulfureux liquide.* — Nous avons calculé, ainsi que l'avait fait Drion, les coefficients de dilatation de l'acide sulfureux liquide, au moyen des densités lues sur le tracé graphique. Nous avons calculé les coefficients *moyens* de dilatation par la formule

$$\alpha = \frac{\delta_0(\delta - \delta')}{\delta\delta'(t' - t)},$$

([1]) *Loc. cit.*, p. 339.

([2]) La moyenne des nombres que nous avons obtenus donnerait 1,4346; mais le nombre 1,4338 est celui auquel nous accordons le plus de confiance. En admettant 1,4340 nous devrons être très près de la vérité, car la densité à $-10°$ tirée des expériences d'Is. Pierre étant sensiblement plus forte que celle d'Andréeff, la densité à 0° d'Andréeff paraît devoir être un peu trop faible.

qui équivaut à

$$\alpha = \frac{V' - V}{V_0(t' - t)}.$$

On obtient ainsi :

| | $\alpha$. |
|---|---|
| Entre 156°,0 et 155°,5 ............. | 0,7371 |
| » 155,5 et 155,0 ............. | 0,2273 |
| » 155,0 et 154,0 ............. | 0,1345 |
| » 154,0 et 153,0 ............. | 0,07721 |
| » 153,0 et 152,0 ............. | 0,04967 |
| » 152,0 et 150,0 ............. | 0,04457 |

Ce Tableau montre avec quelle rapidité croît le coefficient *moyen* de dilatation d'un corps au voisinage du point critique pour atteindre, dans le dernier demi-degré, une valeur égale environ à deux cents fois le coefficient de dilatation des gaz, le coefficient *vrai* devenant infini au point critique.

La connaissance des deux sortes de densités de l'acide sulfureux et celle de la variation de la force élastique maxima mesurée par Regnault entre $-30^{\circ}$ et $+65^{\circ}$ permettent de calculer la chaleur latente de vaporisation par la formule connue

$$L = \frac{T}{E}(u' - u)\frac{dp}{dt}.$$

Les calculs ont été effectués comme il est indiqué dans notre précédent Mémoire; toutes les quantités sont exprimées dans le système du kilogrammètre, et l'on a pris $E = 425$. Le Tableau suivant résume les résultats des calculs ainsi que les données [1] :

| $t^{\circ}$. | $u'$. | $u$. | $\frac{dp}{dt}$. | L. |
|---|---|---|---|---|
| ° | | | kg | |
| 0....... | $\frac{1}{1434}$ | $\frac{1}{4,53}$ | 644,744 | 91,2 |
| + 5....... | $\frac{1}{1420,3}$ | $\frac{1}{5,50}$ | 753,845 | 89,3 |
| 10....... | $\frac{1}{1406,6}$ | $\frac{1}{6,54}$ | 875,211 | 88,7 |
| 15....... | $\frac{1}{1392,9}$ | $\frac{1}{7,85}$ | 1009,45 | 86,7 |
| 20....... | $\frac{1}{1379,2}$ | $\frac{1}{9,35}$ | 1157,05 | 84,7 |

(1) Les résultats de nos calculs sont d'accord avec le nombre 91cal,7 obtenu par M. J. Chappuis, qui a mesuré par une méthode calorimétrique la chaleur latente de vaporisation de l'acide sulfureux à zéro (*Comptes rendus*, t. CIV, p. 897; 1887).

| $t_0$. | $u'$. | $u$. | $\frac{dp}{dt}$. | L. |
|---|---|---|---|---|
| 25....... | $\frac{1}{1365,5}$ | $\frac{1}{11,09}$ | 1318,40 | 82,7 |
| 30....... | $\frac{1}{1350,5}$ | $\frac{1}{13,1}$ | 1493,86 | 80,3 |
| 35....... | $\frac{1}{1336,5}$ | $\frac{1}{15,6}$ | 1683,68 | 77,3 |
| 40....... | $\frac{1}{1322}$ | $\frac{1}{18,15}$ | 1888,03 | 75,6 |
| 45....... | $\frac{1}{1307,5}$ | $\frac{1}{21,15}$ | 2106,97 | 73,3 |
| 50....... | $\frac{1}{1292}$ | $\frac{1}{24,6}$ | 2344,03 | 70,9 |
| 55....... | $\frac{1}{1276}$ | $\frac{1}{28,2}$ | 2588,26 | 69,3 |
| 60....... | $\frac{1}{1259,5}$ | $\frac{1}{31,55}$ | 2850,09 | 69,0 |
| +65....... | $\frac{1}{1243,2}$ | $\frac{1}{35,3}$ | 3118,80 | 68,4 |

M. Sajotchewsky a continué les recherches de Regnault sur la tension de la vapeur de l'acide sulfureux; ses expériences, qui s'étendent de + 50° jusqu'au point critique, ne se raccordent pas avec celles de Regnault, car il y a entre 50° et 60° une différence de 6,5 pour 100 sur la valeur de $\frac{dp}{dt}$ (1), et ce désaccord ne permet pas de calculer les chaleurs latentes qui, au lieu de continuer à décroître régulièrement, prennent au contraire des valeurs plus grandes qu'auparavant. M. J. Bertrand est arrivé, par une voie toute différente, à la même conclusion que nous, touchant les nombres de M. Sajotchewsky; nous sommes heureux de signaler cette concordance (2).

IV. *Remarques sur les densités de vapeur saturée.* — Les vapeurs saturées sont des corps gazeux au voisinage immédiat de leur point de liquéfaction, et par suite sont plus *compressibles* que ne l'indique la loi de Mariotte. Si donc on essaye de calculer les densités de vapeurs saturées au moyen des tensions maxima en appliquant la loi de Mariotte et celle de Gay-Lussac, on doit trouver des densités calculées plus *faibles* que ne le sont les densités déterminées expérimentalement. On vérifie facilement pour

(1) Voici les nombres :

| | $F_{50}$. | $F_{60}$. | $\frac{F_{60}-F_{50}}{10}$. |
|---|---|---|---|
| | atm | atm | atm |
| Regnault............ | 8,19 | 10,69 | 0,250 |
| Sajotchewsky ....... | 8,43 | 11,09 | 0,266 |

(2) *Comptes rendus*, t. CIV, p. 1568; 1887.

l'éthylène (¹), l'acide carbonique, l'acide sulfureux, que la différence entre la densité calculée et la densité vraie croît avec la tension maximum; que cette différence, faible lorsque la tension est au voisinage de la pression atmosphérique, devient considérable au point critique, la densité critique étant 2,5 ou 3 fois la densité calculée. La loi de variation de cette différence change d'ailleurs avec le corps que l'on considère, de sorte qu'il est impossible de formuler, *a priori*, une relation même approchée entre les densités calculées et les densités de vapeur saturées réelles.

Seul, parmi les corps que nous avons étudiés, le protoxyde d'azote présente une particularité qui appelle l'attention; aux températures inférieures à — 10°, la densité calculée en se servant des tensions de vapeur de Regnault est *plus grande* que la densité observée. Ce fait est mis en évidence dans le Tableau suivant :

| $t°$. | Tension d'après Regnault en atmosphères égale $p$. | $\frac{pa}{1+\alpha t}$. | Densité lue sur la courbe graphique. |
|---|---|---|---|
| ° | atm | | |
| 0 ...... | 36,08 | 0,0712 | 0,0800 |
| — 5 ...... | 32,34 | 0,0650 | 0,0690 |
| —10 ...... | 28,96 | 0,0594 | 0,0600 |
| —15 ...... | 25,90 | 0,0541 | 0,0530 |
| —20 ...... | 23,14 | 0,0493 | 0,0460 |
| —25 ...... | 20,65 | 0,0449 | 0,0390 |

Dans ce Tableau, $a$ est le poids en kilogrammes d'un mètre cube de protoxyde d'azote à 0° et à 760ᵐᵐ :

$$a = 1^{kg},293 \times 1,5269 = 0^{kg},001974;$$

$\alpha$ est le coefficient de dilatation sous la pression constante de $1^{atm}$, déterminé par Regnault entre 0° et 100° : $\alpha = 0,003719$.

A — 25°, l'excès de la densité calculée sur la densité lue sur le tracé graphique est environ 15,1 pour 100 du dernier nombre; de plus, à la température de — 10°, où la densité calculée *commence*

(¹) Le coefficient de dilatation de l'éthylène n'ayant été l'objet d'aucune mesure expérimentale, à notre connaissance du moins, nous nous sommes servis dans le calcul du nombre 0,00370 tiré d'une formule *inédite*, analogue pour l'éthylène à celle que Clausius a donnée pour l'acide carbonique.



à être inférieure à la densité observée, la tension de vapeur est d'environ $29^{atm}$; or, pour une égale tension, l'éthylène, l'acide carbonique et l'acide sulfureux fournissent des différences égales ou supérieures à 25 pour 100 de la densité observée.

De semblables différences sont absolument hors de proportion avec les erreurs possibles de l'expérience. Si l'on considère les mesures de la tension de vapeur du protoxyde d'azote données par les différents physiciens [1] qui s'en sont occupés, on trouve qu'elles sont très discordantes, et que les discordances sont de l'ordre de grandeur de celles signalées plus haut. Il paraît donc légitime d'attribuer toutes ces singularités à l'extrême difficulté que l'on a à préparer du protoxyde d'azote exempt d'azote.

---

## SÉANCE DU 1er JUILLET 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 17 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Cadot, Boursier d'agrégation à la Faculté des Sciences de Paris.
Chauvin, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.
Gaiffe (Georges), Constructeur d'instruments de Physique, à Paris.

M. le Président annonce à la Société que le Conseil, dans ses deux dernières réunions, a examiné la question de la publication d'un *Recueil de constantes physiques*, qui paraîtrait par les soins et sous les auspices de la Société. Le Conseil a été unanime à reconnaître l'utilité que présenterait un Recueil qui mettrait sous la main du physicien toutes les données numériques dont il peut avoir besoin. Deux formes ont été proposées pour ce Recueil, celle d'un *Annuaire*, de format restreint, se bornant aux données courantes, ou celle d'un Ouvrage de plus grande étendue et d'un caractère plus élevé, contenant l'indication des sources. Ces deux formes présentent chacune des avantages et, d'ailleurs, ne s'excluent pas nécessairement. C'est à la dernière que le Conseil s'est arrêté pour le moment et il a nommé une

(1) Faraday, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XV, p. 283; 1845. Regnault, *Mém. de l'Acad.*, t. XXVI, p. 535; 1862. Cailletet, *Archives de Genève*, t. LXVI, p. 16; 1878.

Commission (¹) chargée de préparer les éléments d'un volume de même format que la *Collection des Mémoires* et qui renfermerait, avec l'indication des sources, les principales données numériques de la Physique.

Restait une difficulté, celle des voies et moyens, les ressources de la Société étant limitées et le Conseil tenant à ce que cette nouvelle publication n'entravât en rien celle de la *Collection des Mémoires*. Le Président est heureux d'annoncer à la Société que cette difficulté vient d'être levée par un membre de la Société qui désire garder l'anonyme et qui a versé entre les mains du trésorier une somme de $5000^{fr}$ pour aider à la publication du Recueil.

M. le Président se fait l'interprète de la Société en adressant tous ses remerciements au généreux anonyme. (*Applaudissements.*)

M. Foussereau expose la suite de ses recherches sur la décomposition lente des sels par l'eau. Les conditions de l'équilibre chimique vers lequel tendent, dans leurs dissolutions étendues, les chlorures partiellement décomposés, sont modifiées par les variations de la pression. Pour le constater, des dissolutions de perchlorure de fer et de chlorure d'aluminium, préparées depuis longtemps et parvenues à leur état d'équilibre, ont été soumises à des pressions de $150^{atm}$ à $300^{atm}$ fournies par une pompe Cailletet. Une longue éprouvette en verre, contenant le liquide, communique avec un tube capillaire recourbé formant bouchon à l'émeri, et dont l'extrémité ouverte plonge dans le mercure d'un bloc d'acier, où l'appareil est enfermé. Ce tube est muni d'un renflement destiné à contenir une masse supplémentaire du liquide de l'expérience, pour empêcher l'introduction du mercure dans l'éprouvette, sous l'influence de la compression.

La résistance d'une dissolution contenant $\frac{1}{33260}$ de perchlorure de fer, mesurée aussitôt après une compression d'une durée de quatre-vingt-dix minutes à $175^{atm}$, a diminué de $\frac{1}{100}$ de sa valeur. Celle d'une dissolution au $\frac{1}{5414}$ a diminué de $\frac{1}{23}$ après vingt-quatre heures. Enfin, celle d'une dissolution de chlorure d'aluminium au $\frac{1}{20463}$ a diminué de $\frac{1}{132}$ après vingt heures. Ces liquides, abandonnés à eux-mêmes, reviennent ensuite lentement à leur résistance primitive. Il résulte de ces expériences que l'accroissement de la pression contribue, comme l'élévation de la température, à augmenter l'altération de ces liquides.

M. Foussereau a cherché à observer sur d'autres sels les décompositions lentes et réversibles qu'il avait étudiées sur les chlorures. Il a constaté l'existence de ces phénomènes sur divers sulfates et acétates, notamment les acétates de cuivre et de zinc. Contrairement à ce qui se passe pour les chlorures, les acétates deviennent plus résistants par leur dissociation,

(¹) La Commission est composée de MM. Joubert, Secrétaire général, Broch, Cailletet, Dufet, Lippmann, de Romilly et Violle.

parce que l'acide acétique mis en liberté est moins conducteur que ses sels.

La limite d'altération des acétates à une même température, au lieu de croître indéfiniment à mesure que la solution augmente, comme cela a lieu pour les chlorures, passe par un maximum pour une certaine dilution. Cette différence d'allure du phénomène s'explique, si l'on remarque que la décomposition des chlorures n'exige que la rencontre d'une molécule de sel et d'une ou plusieurs molécules d'eau, rencontre toujours réalisée, quelle que soit la dilution, tandis que la réaction inverse exige le concours de l'hydroxyde formé et de l'acide chlorhydrique, dont la réunion sera moins fréquente, à mesure que la quantité d'eau ira en croissant. Dans les acétates, les conditions de la réaction inverse ne sont pas changées; mais l'altération directe donne naissance à un acétate basique et exige que plusieurs molécules d'acétate neutre agissent à la fois les unes sur les autres en présence de l'eau. Ce concours deviendra de plus en plus rare, si le liquide est très étendu, et cessera d'être possible au delà d'une certaine dilution.

M. A. Hillairet donne la théorie d'un dynamomètre totalisateur à courroie élastique de M. Raffard.

Si l'on réunit deux poulies $A_1, A_2$ d'égal diamètre par une bande sans fin de tissu élastique, la vitesse angulaire $\Omega_1$ de la poulie conductrice diffère de la vitesse angulaire $\Omega_2$ de la poulie conduite; on a toujours $\Omega_1 - \Omega_2 > 0$, alors même qu'on a pris toutes les précautions pour assurer l'adhérence et éviter tout glissement.

Si $t_1$ et $t_2$ sont les tensions respectives du brin tendu et du brin mou, on démontre facilement que l'on a, à chaque instant,

$$\Omega_1 - \Omega_2 = \frac{\lambda}{R}\alpha(t_1 - t_2),$$

$\lambda$ étant la longueur naturelle de la bande correspondant à la vitesse $\Omega_1$ (*voir* le Mémoire de M. Krest, dans les *Annales des Mines*, 1862, relatif au glissement des courroies);

$R$ le rayon commun des deux poulies;

$\alpha$ l'allongement de la bande par mètre et par kilogramme.

En substituant aux vitesses angulaires, dans la formule précédente, les nombres de tours $N_1$, $N_2$ des poulies $A_1$, $A_2$ pendant un intervalle de temps déterminé, on a

$$N_1 - N_2 = \alpha \frac{N_1}{R}(t_1 - t_2).$$

La démonstration de ces deux formules est tirée de l'équation de continuité qui résulte du caractère de mouvement permanent affecté par l'écoulement élastique de la bande.

En généralisant, on voit que cette dernière formule s'applique aussi bien au cas où le régime est varié.

La dernière formule montre donc que la différence $N_1 - N_2$ est proportionnelle au travail développé par la transmission.

On conçoit qu'on puisse, avec le dispositif simple que nous venons d'exposer, réaliser un dynamomètre totalisateur directement gradué en kilogrammètres.

Les courbes expérimentales relevées pendant nos essais sur des bandes en caoutchouc montrent que la fonction étudiée est rigoureusement linéaire.

M. Laurent décrit une méthode pratique pour *redresser,* avec précision, le spath d'Islande et le quartz; elle évite les tâtonnements.

Il rappelle que, pour le quartz, on utilise la propriété des spirales d'Airy et l'on emploie l'appareil Norremberg; pour le spath, on se sert ordinairement des surfaces de clivage avec lesquelles l'axe optique fait des angles égaux; mais on ne les a pas toujours.

L'appareil Norremberg présentant des imperfections pour cet usage, M. Laurent a combiné un appareil ou plutôt un *outil,* dont il donne la description, au tableau, au moyen d'une coupe verticale.

La lumière est polarisée horizontalement par un nicol, elle se réfléchit de haut en bas sur une glace transparente à 45°, comme si elle émanait de l'œilleton; elle traverse une lentille, sort en faisceau parallèle, se réfléchit sur un miroir inférieur et revient dans l'œilleton, analysée par un deuxième nicol. Pour rendre l'axe optique de l'appareil perpendiculaire au miroir, M. Laurent pose sur l'œilleton un oculaire *indépendant,* analogue à ceux de ses lunettes autocollimatrices. Au lieu de fils, il a mis une glace avec deux traits en croix; on éclaire, et, si l'image réfléchie ne coïncide pas avec les traits, on agit sur les trois vis qui fixent le corps de l'appareil.

On a ainsi une polarisation *complète,* un grand champ, et l'axe optique est bien *perpendiculaire* au miroir inférieur, qui est à faces *parallèles;* on peut redresser de gros canons et examiner une faible trempe dans le verre, etc.

Soit à redresser un spath, dans lequel les surfaces de clivage manquent; on taille deux faces *à peu près* perpendiculaires à l'axe et peu polies; le spath est fixé sur un double trépied à trou central, que l'on pose sur le miroir inférieur de l'appareil; on sait qu'on voit alors un système d'anneaux traversé par une croix, si l'axe du spath coïncide avec celui de l'appareil, et deux systèmes, s'il est oblique. Le trépied porte trois boutons de réglage dont un est divisé. Quand les faces du trépied sont parallèles, les index marquent zéro. Quand on a réglé le trépied de façon à ne voir qu'un système d'anneaux, le spath est oblique; mais la lumière, avant et après réflexion, passe bien par l'axe du spath; ce dernier forme avec l'axe de l'appareil un angle égal à $i - r$, $i$ étant l'angle d'incidence et $r$ celui de réfraction de l'axe de l'appareil avec les faces du spath; on peut donc, en dévissant le trépied d'une quantité facile à calculer (et que M. Laurent indique), rendre l'axe du spath perpendiculaire, *cette fois,* à la base du trépied.

On transporte ensuite le trépied et son spath sous une lunette autocollimatrice et, au moyen d'un petit système collé sur le spath et portant un miroir réglable, on rend ce dernier perpendiculaire à l'axe de la lunette et, par suite, à l'axe du spath.

On détache le spath de son trépied et le problème est alors ramené à ceci : Demander à l'ouvrier de faire au spath une surface inférieure *parallèle* au petit miroir; ce cas est rendu facile par l'emploi des lunettes autocollimatrices : l'ouvrier en comprend très bien le fonctionnement.

Pour le quartz, c'est le même procédé; on centre bien les spirales d'Airy et l'on tient compte de son indice.

---

## *Dynamomètre totalisateur à courroie élastique;*

par M. RAFFARD.

Si l'on réunit deux poulies $A_1$, $A_2$, d'égal diamètre (*fig.* 1), par

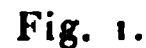
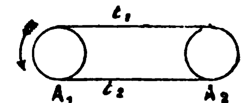


Fig. 1.




une bande sans fin de matière élastique, la vitesse angulaire de la poulie conduite diffère de la vitesse angulaire de la poulie conductrice, bien qu'on se soit efforcé d'assurer l'adhérence en donnant aux arcs embrassés et aux tensions des valeurs en rapport avec l'effort à transmettre.

Supposons que le régime de la transmission soit uniforme, et désignons par

$t_1$ la tension du brin tendu;
$t_2$ la tension du brin mou;
R le rayon commun des deux poulies;
$\alpha$ l'allongement constant par mètre et par kilogramme de la bande élastique.

L'ensemble des mouvements du brin tendu et du brin mou constitue un véritable écoulement de la matière élastique sous des

sections respectivement différentes pour chacun des deux brins?

Le régime uniforme étant établi, ce phénomène présente tous les caractères du mouvement permanent d'un liquide s'écoulant dans une conduite, et la condition de continuité qui en résulte nous donne immédiatement les deux égalités

$$L_1 = \lambda(1 + \alpha t_1), \tag{1}$$
$$L_2 = \lambda(1 + \alpha t_2), \tag{2}$$

$L_1$, $L_2$ étant les longueurs de deux prismes de matière élastique appartenant respectivement au brin tendu et au brin mou, et ayant exactement le même poids.

$\lambda$ représente la longueur commune de chacun de ces deux prismes dans le cas particulier où ils sont identiques, lorsque $t_1 = t_2 = 0$.

La quantité $\lambda$ a été désignée sous le nom caractéristique de *longueur naturelle,* par M. Kretz, dans son Mémoire *Sur les glissements des courroies en cuir,* publié dans les *Annales de Mines* en 1862.

En étudiant les propriétés mécaniques du caoutchouc, M. Raffard fut amené à reprendre les expériences de M. Kretz, mais avec des bandes élastiques. Le phénomène de retard fut amplifié et M. Raffard put, de ses nouvelles recherches, tirer les conséquences qui l'amenèrent à la conception de l'appareil dynamométrique qui nous occupe.

Nous avons admis que la transmission était dépourvue de glissements dus au manque d'adhérence : ceci posé, on voit clairement que la vitesse d'enroulement du brin tendu sur la poulie conductrice est la même que la vitesse linéaire à la périphérie de cette poulie; de même que le brin mou est animé d'une vitesse qui n'est autre que la vitesse linéaire de la poulie conduite à sa périphérie.

Divisons (1) et (2) membre à membre, il vient

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2},$$

$$\frac{L_1 - L_2}{L_2} = \frac{\alpha(t_1 - t_2)}{1 + \alpha t_2},$$

$$L_1 - L_2 = \frac{L_2}{1 + \alpha t_2}\alpha(t_1 - t_2).$$

Mais

$$\frac{L_2}{1 + \alpha t_2} = \lambda,$$

d'où

$$L_1 - L_2 = \lambda\alpha(t_1 - t_2).$$

La différence angulaire du mouvement des deux poulies correspondant aux longueurs $L_1$ et $L_2$ est, d'après ce que nous avons vu précédemment, proportionnelle à $L_1 - L_2$ et, par suite, à $t_1 - t_2$, c'est-à-dire à l'effort transmis.

Si l'on suppose que $L_1$ soit la longueur de brin tendu enroulée par tour de la poulie conductrice, la différence angulaire pour $N_1$ tours de cette poulie pourra être introduite dans une expression équivalente à la précédente

$$2\pi R(N_1 - N_2) = N_1 \lambda\alpha(t_1 - t_2),$$

$N_2$ étant le nombre de tours de la poulie conduite correspondant à $N_1$.

La différence totale $N_1 - N_2$ est égale à $N_1$ fois la différence par tour; or, la différence par tour est proportionnelle à $t_1 - t_2$ qui est l'effort moteur; $N_1 - N_2$ est proportionnel au produit de l'effort moteur par $N_1$, c'est-à-dire indique le travail total, à un facteur constant près,

$$N_1 - N_2 = \frac{1}{2\pi R} \lambda\alpha N_1(t_1 - t_2).$$

La transmission en question, tarée expérimentalement, pourra donc constituer un véritable appareil dynamométrique, à la condition que deux compteurs de tours respectivement solidaires des arbres de $A_1$ et de $A_2$ indiquent les valeurs correspondantes $N_1$ et $N_2$.

Dans l'établissement de la formule précédente, nous avons supposé que le régime était uniforme. Les résultats sont les mêmes quand le régime est varié.

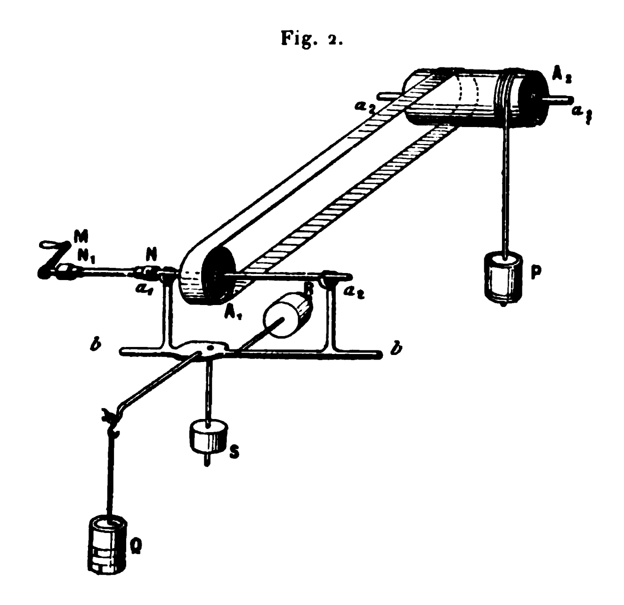
En effet, une accélération de la poulie conductrice produit un allongement momentané du brin tendu dû à l'inertie des organes conduits; ces allongements produisent des différences angulaires dans la marche des deux poulies, différences dont la somme algébrique devient rigoureusement nulle si l'on part d'un régime uniforme pour revenir à un régime uniforme, et en particulier entre la mise en marche et l'arrêt.

La *fig.* 2 montre un diagramme de l'appareil établi par M. Raffard pour la vérification de la loi du retard angulaire que nous venons d'énoncer quel que soit $t_1 + t_2$.

La poulie conductrice $A_1$ est mise en mouvement par la manivelle M à laquelle elle est reliée par un arbre et deux manchons N, $N_1$ montés avec du jeu longitudinal.

Les deux supports de la poulie sont solidaires et peuvent osciller autour de l'axe *bb*. Le poids variable Q équilibre la somme

Fig. 2.




des tensions $t_1 + t_2$; les contrepoids à réglage R et S servent, l'un à équilibrer le bras qui porte le poids Q, et l'autre à donner de la stabilité au système oscillant en permettant d'abaisser le centre de gravité de l'ensemble au-dessous de l'axe de suspension.

Le tambour $A_2$, de même diamètre que $A_1$, reçoit d'une part la bande élastique à essayer, et de l'autre une cordelette à laquelle est fixé un poids P qu'il s'agit d'élever.

La hauteur d'élévation du poids, celui-ci étant donné, est proportionnelle au travail : on vérifiera donc rapidement que cette hauteur d'élévation est proportionnelle à la différence angulaire du mouvement des deux poulies, pour un nombre de tours fixe de la poulie conductrice.

On constatera ensuite que la loi est indépendante de $t_1 + t_2$, de P, de la longueur de la bande et de la vitesse à laquelle on opère.

L'établissement d'un dynamomètre à courroie élastique peut être effectué avec une grande simplicité; le tarage ne présente aucune difficulté et l'appareil peut être *directement gradué en kilogrammètres*.

Nous en recommandons l'emploi pour la mesure des faibles travaux, que les dynamomètres actuels ne permettent d'évaluer qu'avec une approximation insuffisante.

---

## SÉANCE DU 15 JUILLET 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juillet est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Périer (Paul), chargé de Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences de Rennes.

Sur la proposition de M. le Président, M. Bouty est chargé de représenter la Société au Congrès de l'*Association française pour l'avancement des Sciences*, qui se tiendra cette année à Toulouse du 22 au 29 septembre.

M. le Président invite MM. les Membres de la Société à se rendre le jeudi 21 juillet, à 5 heures, aux ateliers de M. Mercklin, rue Delambre, 22, pour l'audition et l'examen des orgues électriques de ce facteur.

M. Bouty communique à la Société les recherches qu'il a entreprises en vue de généraliser l'application de la mesure des résistances électriques à l'étude des réactions chimiques.

1. Pour arriver à ce résultat, il faut d'abord savoir calculer la conductibilité du mélange de deux dissolutions sans action chimique réciproque. Or, dans le cas particulier de deux sels neutres dont les dissolutions ont été effectuées en proportions équivalentes, on sait que la conductibilité du mélange est la moyenne des conductibilités des liqueurs séparées, c'est-à-dire que si l'on a mêlé $p$ litres d'une dissolution de conductibilité $a$, $q$ litres d'une dissolution de conductibilité $b$, la conductibilité $\mu$ du mélange est

$$\mu = \frac{pa + qb}{p + q}.$$

Il faut pouvoir faire abstraction de la condition d'équivalence des liqueurs mêlées. A cet effet, il suffit de remarquer qu'un mélange quelconque peut toujours être réalisé au moyen de liqueurs équivalentes. Soit, par exemple, une dissolution de chlorure de potassium à $1^{éq}$ par litre que l'on mêle à volumes égaux avec une dissolution d'azotate de potasse à $0^{éq},5$. Ce mélange contient, sous le volume 2, $1^{éq}$ de KCl et $0^{éq},5$ de $KOAzO^5$, et peut être aussi bien réalisé en mêlant $2^{vol}$ de KCl à $0^{éq},75$ et $1^{vol}$ de KO, $AzO^5$ également à $0^{éq},75$. On pourra donc, d'après la loi précédente, calculer la conductibilité de ce mélange, si celles de KCl et de KO, $AzO^5$ sont connues pour toutes les dilutions.

La conductibilité $x$ ainsi calculée diffère, en général, de la moyenne $\mu$ des conductibilités des liqueurs mêlées. Supposons d'abord, pour simplifier, que les deux sels dont on mêle les dissolutions sont identiques; le rapport

$$\varepsilon = \frac{x - \mu}{\mu}$$

est toujours positif et d'autant plus grand que les concentrations des liqueurs mêlées sont plus différentes. Quand ces concentrations sont égales, $\varepsilon = 0$.

Si les sels sont différents, il arrive en général que, dans un certain intervalle, l'accroissement de conductibilité moléculaire du sel qui se dilue est insuffisant pour compenser la diminution de conductibilité du sel qui se concentre, et alors $\varepsilon$ est susceptible de devenir négatif. Pour une concentration 1 du premier sel et une concentration $m$ variable du second, $\varepsilon$ passe deux fois par zéro; l'une des deux valeurs de $m$ est égale à 1, l'autre plus ou moins différente. Pour des valeurs de $m$ très grandes ou très petites, $\varepsilon$ est toujours positif.

Si l'on mêle un sel neutre et un acide, sans action chimique réciproque, on constate que la marche générale des valeurs de $\varepsilon$ est la même que dans le cas de deux sels neutres, à cela près qu'aucune des deux valeurs de $m$ pour lesquelles $\varepsilon$ s'annule ne se trouve égale à 1. Un équivalent d'un acide minéral tel que les acides chlorhydrique ou azotique se comporte, au point de vue des mélanges, comme le ferait un certain nombre $n$ (entier ou fractionnaire) d'équivalents d'un sel neutre. On remarquera, à ce propos, qu'on ne peut faire rentrer ces acides dans la loi d'équivalents relative à la conductibilité qu'en admettant précisément qu'ils représentent plusieurs équivalents d'un sel neutre.

**2.** Soient des dissolutions A, B, C que l'on mêle; il s'agit de reconnaître si elles exercent entre elles une action chimique. Si l'on a étudié les conductibilités de A, B, C pour toutes les dilutions, on est en mesure de calculer la conductibilité $x$ de leur mélange, d'après les principes indiqués précédemment. La conductibilité mesurée C concordera rigoureusement avec $x$, et alors il n'y a pas trace d'action chimique, ou bien elle sera différente, et alors on jugera, d'après son signe, si le nombre des molécules électrolytiques augmente ou diminue. Toutes choses égales d'ailleurs,

l'intensité de la réaction sera grossièrement proportionnelle à la différence $C - x$.

Dans un grand nombre de cas particuliers, il est possible d'aller plus loin et de réaliser, à l'aide de l'électromètre, de véritables analyses quantitatives. M. Bouty a choisi l'exemple de la réaction de l'acide sulfurique sur le sulfate neutre de potasse, étudiée par M. Berthelot, à l'aide du calorimètre. M. Berthelot a reconnu que la quantité de bisulfate de potasse existant dans une liqueur décroît quand la dilution augmente; qu'elle croît, au contraire, par la présence d'un excès de l'un ou de l'autre des deux corps réagissants.

Si l'on mêle l'acide sulfurique et le sulfate neutre en proportions équivalentes, et qu'on étende progressivement la liqueur, M. Bouty observe que la résistance moléculaire $\rho_0$ du mélange varie d'après la même loi que la résistance moléculaire d'une substance chimique simple quelconque, c'est-à-dire que $\rho_0$ est lié à la concentration $m$ par une relation

$$(1) \qquad \rho = A + B m^{\frac{1}{3}},$$

A et B étant deux constantes. La constante A est la limite vers laquelle tend, pour $m = 0$, la valeur calculée de la conductibilité d'un mélange d'acide sulfurique et de sulfate de potasse, *en supposant nulle l'action chimique*. La proportion $y$ de bisulfate de potasse contenu dans la liqueur tend donc vers zéro avec $m$. D'autre part, et quelle que soit la résistance moléculaire du bisulfate de potasse, la forme (1), trouvée pour la résistance moléculaire du mélange, implique que la proportion $y$ de bisulfate soit liée à la concentration $m$ par une relation de la forme

$$y = Y m^{\frac{1}{3}}.$$

$y$ décroît donc en même temps que $m$, mais avec une lenteur extrême, puisque, quand $m$ se divise par 10, $y$ décroît seulement dans le rapport $\frac{1}{2,156}$.

Si l'on veut calculer la valeur absolue de $y$ pour une concentration donnée $m$ du mélange, il est nécessaire de faire une hypothèse sur la conductibilité du bisulfate de potasse que l'on n'a pu mesurer directement; ce sel est, en effet, toujours accompagné, dans ses dissolutions étendues, par de l'acide sulfurique et du sulfate neutre de potasse. Les analogies portent à penser que, dans les dissolutions étendues, une molécule de bisulfate conduit à peu près comme une molécule de sulfate neutre; eu égard à la grande conductibilité des dissolutions d'acide sulfurique, il est donc légitime de confondre les conductibilités moléculaires des deux sels.

Cela posé, on trouve, conformément aux résultats des expériences de M. Berthelot, que la proportion $y$ de bisulfate croît avec l'excès de l'un quelconque des deux corps réagissants, et que, de plus, elle augmente quand

la température s'élève de 0° à 30° par exemple. *Le bisulfate de potasse est donc plus stable dans les liqueurs chaudes et concentrées que dans les dissolutions froides et étendues.*

En terminant, M. Bouty insiste sur les services que l'on peut attendre de l'emploi de l'électromètre dans l'étude des équilibres chimiques. La nouvelle méthode s'appliquera précisément dans les cas où l'usage du calorimètre devient illusoire, c'est-à-dire quand on a affaire à des liqueurs extrêmement étendues, ou qu'on veut opérer à des températures plus ou moins éloignées de la température ambiante.

N'ayant pas l'intention de poursuivre davantage par lui-même des études d'ordre purement chimique, M. Bouty se met à la disposition des savants qui désireraient se familiariser avec l'usage de l'électromètre et tenter d'autres applications de la mesure des résistances liquides.

M. Gariel présente quelques résultats numériques qu'il a obtenus dans l'étude des microscopes.

Lorsque, devant une lentille ou un système de lentilles, on déplace un objet le long de l'axe, l'image du sommet décrit une droite inclinée sur l'axe et passant par le foyer. Si, prenant l'axe du système pour axe des $x$ et une droite perpendiculaire en un point quelconque pour axe des I, l'équation de cette droite peut être mise sous la forme

$$x = a\mathrm{I} + b,$$

dans laquelle $x$ est l'abscisse de l'image et I représente sa grandeur. On voit immédiatement que $b$ est l'abscisse du foyer; d'autre part, l'équation $\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{O}} = \frac{l'}{f}$, où $l' = b - x$ mesure la distance de l'image au foyer, donne

$$f = a\mathrm{O}.$$

Si donc on détermine, d'autre part, l'abscisse de la face de la lentille $c$, la quantité $b - c$ mesure la distance de cette face au foyer. Ces deux quantités sont utiles à connaître, car $\frac{1}{f}$ mesure la puissance absolue de l'appareil, et la connaissance de $b - c$ permet de savoir quelles peuvent être les positions relatives du foyer et du centre optique de l'œil, donnée nécessaire pour déterminer les conditions dans lesquelles on peut obtenir le plus fort grossissement.

M. Gariel a étudié dans un microscope de Nachet les diverses combinaisons d'objectifs et d'oculaires; pour chaque cas, il a déterminé l'équation $x = a\mathrm{I} + b$ en cherchant des séries de valeurs correspondantes de $x$ et de I. Il a opéré par deux méthodes distinctes qui exigent l'une et l'autre quelques précautions spéciales : 1° par les images virtuelles en employant la chambre claire; 2° par les images réelles recueillies directement.

Sans entrer dans le détail des opérations et des résultats, il a signalé que les distances focales trouvées varient de $9^{\mathrm{mm}},8$ (obj. 2, oc. 1) à $0^{\mathrm{mm}}.44$

(obj. 6, oc. 3). D'autre part, les distances du foyer à la lentille ont été trouvées pour les divers objectifs de $17^{mm}$ à $14^{mm},2$ avec l'oculaire 1, de $8^{mm},5$ à $5^{mm},5$ pour l'oculaire 2, de $6^{mm},5$ à $5^{mm},5$ pour l'oculaire 3. Dans le cas des deux derniers oculaires, le centre optique de l'œil est nécessairement plus loin de la lentille que le foyer; il peut être entre la lentille et le foyer pour l'oculaire. L'état d'accommodation de l'œil dans ces deux cas peut donc être différent et cette remarque expliquerait les divergences qui ont été signalées par divers physiciens et micrographes au sujet des conditions d'emploi du microscope.

A une remarque de M. Pellat qui pense que la différence de position de l'œil ne peut pas amener de variations sensibles dans la valeur du grossissement, M. Gariel répond que cependant ces changements ne sont pas négligeables et qu'il lui a paru intéressant, en tout cas, de donner une explication plausible de résultats contradictoires obtenus par divers observateurs.

M. Mergier présente un nouveau focomètre construit par M. Ducretet, destiné à mesurer la distance focale exacte des systèmes dioptriques formés de plusieurs lentilles et, en particulier, la distance focale des objectifs et des oculaires de microscope, et celle du microscope lui-même considéré dans son ensemble.

Le principe de l'instrument est le suivant : Étant donnée l'image égale à l'objet, on cherche l'image double; pour cela, le plan où se forme l'image restant fixe, il faut déplacer l'objet d'une quantité égale à $\frac{f}{2}$ et le système optique réfringent d'une quantité exactement égale à la distance focale $f$.

L'instrument est construit de façon à éviter les tâtonnements et permet de mesurer des distances focales très petites avec moins de $\frac{1}{10}$ de millimètre d'erreur. On peut, à l'aide d'une disposition spéciale, déterminer la position des plans principaux du système optique dont on a déjà mesuré la distance focale.

L'auteur poursuit le but de la détermination des constantes physiques des principaux instruments d'optique, et plus particulièrement la graduation des objectifs et des oculaires de microscope en unités dioptriques.

---

## *Détermination expérimentale des constantes des instruments d'Optique;*

par M. C.-M. Gariel.

Si l'on désigne par $\alpha_i$ le diamètre apparent de l'image I d'un objet de grandeur O regardé à travers un système centré quelconque, image située à une distance $d$ du centre optique de l'œil,

et par $\lambda$ la distance de ce centre à la rétine, la grandeur de l'image rétinienne est $\beta_i = \lambda\alpha_i$ ou, comme $\alpha_i = \frac{1}{d}$,

$$\beta_i = \frac{\lambda 1}{d}.$$

La puissance de l'instrument pour une distance donnée $d$ peut être mesurée par la grandeur de l'image rétinienne fournie par un objet de longueur égale à l'unité; si $\gamma$ est cette puissance, on a donc

$$\gamma = \frac{1}{O}\frac{\lambda}{d}.$$

Mais on a, d'autre part,

$$\frac{1}{O} = -\frac{l'}{\varphi},$$

si l'on appelle $l'$ l'abscisse de l'image et $\varphi$ la distance focale du système (¹). Il vient donc

$$\gamma = -\frac{l'}{\varphi}\frac{\lambda}{d}.$$

La position de l'œil doit être définie par rapport au système centré : nous appellerons $\delta$ l'abscisse du premier foyer par rapport au centre optique de l'œil; $d$ est l'abscisse de l'image par rapport au même point, la convention des signes restant la même. On a alors

$$l' = d - \delta \qquad \text{et} \qquad \gamma = -\frac{\lambda(d-\delta)}{\varphi d}.$$

Si D est la distance à laquelle on regarde l'objet directement, et $\beta_o$ la grandeur de l'image rétinienne, dans ce cas, on a

$$\beta_o = \frac{\lambda O}{D}$$

et l'on a, pour les valeurs du grossissement $g$,

$$g = \frac{\beta_i}{\beta_o} = \frac{1}{O}\frac{D}{d} = -\frac{l'D}{\varphi d} = -\frac{(d-\delta)D}{\varphi d}.$$

---

(¹) Nous admettons les conventions suivantes : $l'$ est l'abscisse de l'image comptée à partir du premier foyer, et $\varphi$ est l'abscisse de la lentille comptée à partir du deuxième foyer. Dans tous les cas, les abscisses sont comptées, par exemple, positivement du côté d'où vient la lumière et négativement du côté opposé.

Dans cette formule, D devra être pris égal à la distance du *punctum proximum* si, comme dans le cas de la loupe et du microscope, l'objet peut être rapproché de l'œil à la volonté de l'observateur; dans le cas contraire, celui des lunettes, D représente la distance effective de l'objet. Dans tous les cas, c'est une quantité connue, indépendante de l'appareil.

Une discussion que ce n'est pas ici le lieu de faire montre que, suivant les conditions, $d$ doit être pris égal à la distance du *punctum proximum* ou à celle du *punctum remotum :* le choix à faire dépend en particulier de la quantité $\delta$, qui entre d'autre part explicitement dans les formules donnant $\gamma$ ou $g$; enfin celles-ci contiennent également la distance focale.

Il résulte de ces remarques que la détermination des conditions précises d'emploi d'un système centré dépend de sa distance focale et de la position de son premier foyer par rapport au centre optique de l'œil. Pour pouvoir évaluer l'effet d'un instrument optique appliqué devant l'œil, dans toutes les circonstances, il suffit donc de déterminer la position du premier foyer et la distance focale.

Considérons un objet linéaire AB, perpendiculaire à l'axe du système centré, se déplaçant parallèlement à lui-même, de telle sorte que son extrémité A se trouve constamment sur l'axe; on sait que l'image B′ de l'extrémité B décrit une droite passant par le premier foyer. Désignons par $x = a\mathrm{I} + b$ l'équation de cette droite, $x$ étant l'abscisse prise à partir d'une origine quelconque, abscisse caractérisant la position d'une image, et I l'ordonnée comptée à partir de l'axe qui mesure la grandeur de cette image.

Cette équation étant déterminée, on pourra aisément obtenir les éléments qui caractérisent le système centré comme nous venons de le dire.

En faisant $\mathrm{I} = 0$, la valeur $x_0$ de l'abscisse, $x_0 = b$, donne immédiatement la position du foyer.

D'autre part, pour une image quelconque, on sait que l'on a

$$\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{O}} = -\frac{l'}{\varphi},$$

$l'$ étant l'abscisse à partir du foyer; on a, dans ce cas, d'une manière générale,

$$l' = x_0 - x \qquad \text{ou} \qquad l' = -a\mathrm{I}.$$

On conclura donc immédiatement

$$\varphi = aO.$$

La détermination de l'équation de la droite que nous venons d'étudier s'obtient aisément : il suffit de déplacer un objet d'une manière quelconque devant le système centré que l'on étudie et de mesurer la grandeur de l'image nette en même temps qu'on caractérise sa position en mesurant sa distance à une origine fixe choisie arbitrairement. Deux déterminations de ce genre suffiraient pour calculer les coefficients $a$ et $b$ ; il va sans dire que, en réalité, il convient d'en faire le plus grand nombre possible pour avoir des vérifications.

Pour réaliser expérimentalement les conditions que nous venons d'indiquer, nous avons employé deux méthodes distinctes que nous allons indiquer sommairement.

I. *Méthode de l'image virtuelle.* — Cette méthode est basée sur l'emploi de la chambre claire; voici comment nous avons disposé l'expérience :

Sur le chariot d'un cathétomètre on place horizontalement une règle graduée, en millimètres par exemple; sa position sera déterminée avec précision par une lecture faite sur le vernier de l'appareil. Au-dessus, on place le microscope (ou, d'une manière plus générale, le système centré) que l'on veut étudier après avoir disposé comme d'ordinaire une chambre claire sur l'oculaire et un micromètre sur le porte-objet. Le microscope doit présenter une certaine inclinaison, car la face d'entrée des rayons dans la chambre claire doit être horizontale : on s'assure que cette condition est remplie en déplaçant le chariot du cathétomètre et vérifiant que, regardant dans la chambre claire, on ne cesse pas de voir les mêmes divisions de la règle graduée.

Il faut, d'autre part, déplacer le micromètre ou, plus commodément, cette règle graduée, jusqu'à ce que les divisions de l'un et de l'autre soient parallèles.

L'expérience étant disposée et le micromètre étant convenablement éclairé, en regardant par la chambre claire, on voit à la fois l'image de la règle graduée et celle du micromètre fournie par le microscope. Il faut amener ces images à être en coïncidence, de

manière à éviter la parallaxe; on y arrive suivant le procédé ordinaire en déplaçant l'œil latéralement devant la chambre claire. La coïncidence cherchée existe si, malgré ces déplacements, les deux images conservent leurs positions relatives; ce résultat s'obtient aisément et rapidement.

L'image fournie par le microscope a sa position déterminée; elle est donnée par la lecture faite au vernier du cathétomètre. Cette lecture donne l'abscisse $x$ de l'image, comptée à partir du zéro du cathétomètre.

On a, d'autre part, la grandeur I de l'image en évaluant sur la règle graduée l'espace occupé par une division (ou plus commodément par dix divisions) du micromètre.

Une observation détermine donc un couple de valeurs correspondantes de $x$ et de I, qui doivent satisfaire à l'équation générale

$$x = a\mathrm{I} + b.$$

En déplaçant la règle graduée sur le cathétomètre, on obtient, en répétant les opérations précédentes, autant de couples de valeurs de $x$ et de I qu'on le désire; on peut donc calculer $a$ et $b$ et avoir de nombreuses vérifications, car les mesures s'effectuent rapidement.

Connaissant la valeur absolue des divisions du micromètre, on a immédiatement la distance focale du système, puisque l'on a

$$\varphi = a\mathrm{O}.$$

On a également l'abscisse $b$ du foyer dont la position se trouve déterminée par rapport au zéro du cathétomètre; comme ce qu'il est utile de connaître, c'est la position du foyer par rapport à l'oculaire, il serait nécessaire d'évaluer l'abscisse de la face externe de cette lentille par rapport au zéro du cathétomètre en tenant compte du trajet brisé suivi par les rayons lumineux dans la chambre claire. Nous n'avons pas pu arriver facilement à faire cette détermination avec une grande précision.

II. *Méthode de l'image réelle.* — Cette méthode applicable aux appareils qui peuvent donner des images réelles d'objets extérieurs est très simple : l'appareil est placé parallèlement à une règle graduée; d'un côté on met un micromètre convenablement

éclairé, de l'autre un écran translucide, en verre finement dépoli. L'expérience se fait dans une chambre obscure.

En déplaçant convenablement le micromètre ou l'écran, on arrive à obtenir sur celui-ci une image très nette : la position de cette image est donnée par une lecture faite sur la règle graduée, lecture qui détermine l'abscisse de cette image par rapport au zéro de la règle. On obtient aisément la grandeur de l'image en appliquant sur l'écran une règle divisée sur verre.

On a ainsi, comme précédemment, une couple de valeurs de $x$ et de I qui se correspondent ; comme dans la méthode précédente, en variant la position de l'écran, on a autant de valeurs qu'on le veut et l'on peut déterminer les coefficients de l'équation.

On peut rapporter facilement, dans ce cas, la position du foyer à l'oculaire : on déplace l'écran en verre dépoli jusqu'à ce qu'il arrive au contact de la face externe de l'oculaire ; une lecture faite alors sur la règle graduée donne l'abscisse de cette face par rapport à la même origine que celle à laquelle sont rapportées toutes les abscisses.

J'ai fait d'abord une série d'expériences en prenant un cathétomètre comme règle graduée ; puis j'ai trouvé plus commode ensuite de me servir de la règle et des supports d'un banc de diffraction. Les opérations sont rapides et l'on arrive facilement à une grande précision.

J'ai appliqué les deux méthodes notamment à l'étude complète d'un microscope de Nachet en prenant les diverses combinaisons d'objectifs et d'oculaires : je me bornerai à résumer les résultats de ces mesures, sans m'arrêter aux recherches faites sur d'autres appareils.

*Valeurs de la distance focale.*

| Numéros des objectifs. | Numéros des oculaires. 1. | 2. | 3. |
|---|---|---|---|
| | mm | mm | mm |
| 2 .......... | 9,80 | 7,00 | » |
| 3 .......... | 3,90 | 3,00 | 2,00 |
| 4 .......... | 2,35 | 1,85 | 1,20 |
| 5 .......... | 1,35 | 1,05 | 0,72 |
| 6 .......... | 0,83 | 0,60 | 0,43 |

*Valeurs de la distance du foyer à la face externe de l'oculaire.*

| Numéros des objectifs. | Numéros des oculaires. 1. | 2. | 3. |
|---|---|---|---|
| | mm | mm | mm |
| 2.......... | 17,0 | 8,0 | » |
| 3.......... | 14,5 | 8,5 | 6,5 |
| 4.......... | 14,3 | 5,5 | » |
| 5.......... | 15,0 | 7,5 | 5,5 |
| 6.......... | 14,2 | 8,0 | 5,5 |

Ces résultats montrent que, si, pour la valeur de la distance focale, l'influence des deux lentilles se fait également sentir, il n'en est pas de même pour la position du foyer qui dépend surtout de l'oculaire employé.

Les différences observées sont notables et elles sont telles qu'elles ont une influence réelle; si, en effet, par l'emploi de l'oculaire 1, on peut faire usage du microscope en plaçant le centre optique de l'œil entre l'oculaire et le foyer, il ne peut certainement en être ainsi avec les oculaires 2 et 3. Cette différence fait que, pour avoir le plus fort grossissement, l'œil doit être à l'état d'accommodation maxima dans un cas, et à l'état d'accommodation nulle dans l'autre cas.

Si cette différence de position peut n'avoir pas grande importance au point de vue de la puissance de l'instrument, parce que la valeur absolue de $\delta$ est toujours très petite par rapport à $d$, il n'est pas indifférent au point de vue physiologique de se servir du microscope avec ou sans accommodation, et nous pensons qu'il y aurait intérêt à ce que l'on se préoccupât de cette considération dans la construction des microscopes.

---

*Nouveau focomètre pour la détermination des constantes optiques des systèmes dioptriques en général;* par M. G.-E. Mergier.

Le numérotage des verres d'Optique en *dioptries* est aujourd'hui universellement accepté et l'on peut dire qu'il rend les plus grands services. Mais les *systèmes* de plusieurs lentilles, tels que *doublets, triplets, objectifs* et *oculaires* de microscope, *loupe* de Bruke, etc., ont été laissés à l'écart, bien que théoriquement ils puissent être ramenés aux données des verres simples : *deux points nodaux, deux plans focaux, deux plans principaux, deux plans antiprincipaux* ou *principaux inverses.* La raison de cette exclusion tient principalement à la difficulté que présente, dans ces systèmes, la mesure de la distance focale vraie, c'est-à-dire comptée du *plan focal* au *plan principal* correspondant. Ces deux plans sont, en effet, deux inconnues.

Les focomètres construits jusqu'à ce jour, le focomètre de Silbermann par exemple, donnent d'excellents résultats appliqués aux lentilles minces. On prend ordinairement pour origine des distances la surface ou le plan médian de la lentille.

On agit de même dans le cas des lentilles épaisses et, grâce à une légère correction, on obtient encore un résultat satisfaisant. Cette correction consiste à augmenter ou diminuer, selon le cas, le nombre obtenu d'une quantité égale à $\frac{1}{3}$ de l'épaisseur de la lentille.

Mais l'application de ces instruments cesse d'être possible, lorsqu'il s'agit des *systèmes dioptriques* dont nous venons de parler. La puissance de ces systèmes est cependant une donnée des plus importantes, car elle nous renseigne sur leur *pouvoir grossissant.*

Les *objectifs* et les *oculaires de microscope,* par exemple, offrent, à ce point de vue, un intérêt tout particulier.

Aussi est-ce principalement sur ces derniers que s'est portée l'attention des constructeurs. Toutefois, malgré les efforts tentés dans ce sens, les *numéros* gravés sur leur monture métallique n'apprennent rien de leur *puissance.* Souvent celle-ci varie dans

des proportions appréciables entre les objectifs ou les oculaires de même numéro d'un même constructeur; et, lorsqu'on passe d'un constructeur à un autre, on ne trouve plus aucune relation de puissance entre deux objectifs et deux oculaires marqués du même chiffre. Chaque constructeur a son système de numérotage *personnel*, purement arbitraire, qu'il modifie au besoin selon les commodités de la construction. Aussi les numéros des objeetifs et des oculaires ne sont-ils que des numéros d'ordre d'une valeur très relative.

Toutefois, certains constructeurs français et étrangers donnent les *distances focales* de leurs *objectifs* en pouces.

Cette *distance focale* est ordinairement calculée d'après le grossissement que fournit le microscope armé de cet *objectif*. Mais on sait que le *grossissement* varie avec la *vue* de l'observateur et avec la *mise au point;* aussi les nombres ainsi obtenus ne sont-ils pas de la dernière exactitude. D'ailleurs ce mode de graduation n'est pas général.

Nous nous sommes proposé de résoudre les difficultés inhérentes à ces mesures délicates en faisant usage d'une méthode nouvelle et d'un instrument construit spécialement dans ce but sur nos indications. Nos essais ont principalement porté sur des *oculaires* et des *objectifs* de microscope. Grâce aux bienveillants conseils de notre maître, M. le professeur Gariel, les résultats que nous avons obtenus nous ont pleinement satisfait et nous engagent à persévérer dans cette voie.

**Principe de l'instrument.**

La construction de notre focomètre repose sur le principe suivant :

*Étant donnée une image égale à l'objet, pour avoir une image double, dans le même plan, il faut éloigner le système optique d'une quantité exactement égale à la distance focale et l'objet d'une quantité moitié.*

Dans la formule $\frac{O}{I} = \frac{l}{f} = \frac{f}{l'}$, qui donne les relations de position et de grandeur de l'image par rapport à l'objet, si nous faisons

$I = O$, nous aurons

$$l = f \quad \text{et} \quad f = l'.$$

Si nous faisons $I = 2O$, nous aurons

$$l = 2f \quad \text{et} \quad f = 2l'.$$

On peut encore, par une simple construction géométrique, mettre le fait en évidence, ainsi qu'on peut s'en rendre compte par la *fig.* 1.

Fig. 1.

Nous prenons donc pour origine des mesures des points nettement déterminés : les deux plans principaux inverses.

*Description.* — Cet instrument, construit par M. Ducretet, se compose d'un banc métallique horizontal sur lequel glissent deux supports verticaux (*fig.* 2). L'un est muni d'un *micromètre* O, l'autre d'un disque métallique portant un *objectif* A et un *oculaire* B que l'on peut amener successivement dans l'axe de l'appareil et changer à volonté. En O' se trouve, occupant une position fixe, un second micromètre avec des divisions exactement égales à celles du premier O. Un *microscope* coudé à angle droit M permet de voir ces divisions ainsi que l'image, fournie par le système optique à mesurer, de celles qui sont en O. Les deux micromètres (*fig.* 3)

sont éclairés par un miroir $m$, placé en arrière et réfléchissant, suivant l'axe de l'instrument, la lumière du jour ou celle d'une source artificielle quelconque.

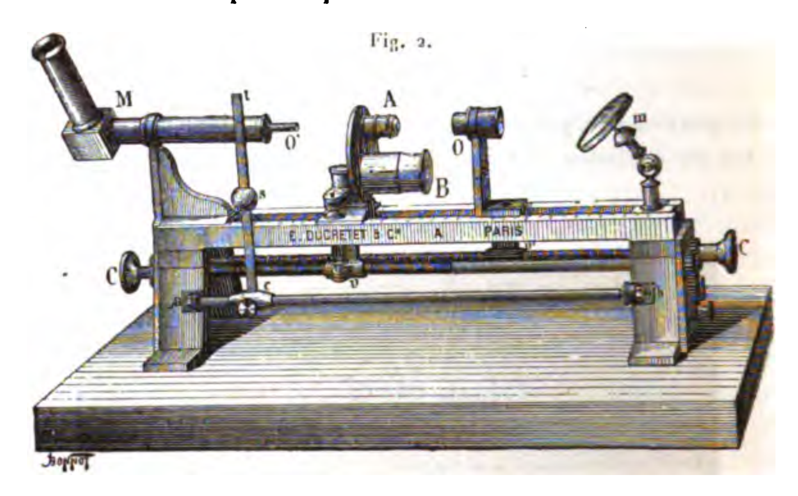
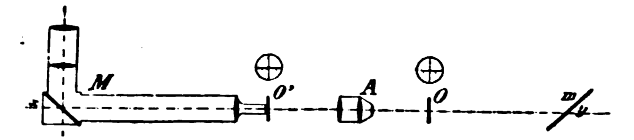


Fig. 2.

Les supports du système optique A du micromètre O sont munis d'écrous à leur partie inférieure, dans lesquels s'engagent deux vis micrométriques $v$ et $v'$. Ces vis, placées au-dessous du banc horizontal, en occupent toute la longueur : elles peuvent être rendues solidaires ou indépendantes l'une de l'autre à volonté, à l'aide de

Fig. 3.




deux systèmes de roues dentées $c$ et $c'$ combinées de façon à obtenir un nombre de tours double de l'une par rapport à l'autre. Cette disposition spéciale évite les tâtonnements de réglage et de *mise au point,* si longs et si difficiles dans certains *focomètres.*

#### Usages de l'instrument.

Cet instrument ne permet pas seulement, comme son nom semble l'indiquer, de mesurer la distance focale ; il permet, d'une

façon générale, de déterminer les constantes optiques d'un système dioptrique quelconque. Cette détermination comprend trois opérations successives :

1° La détermination des plans principaux inverses;
2° La mesure de la distance focale;
3° L'indication de la position des plans principaux.

I. *Détermination des plans principaux inverses.* — Cette détermination se fait par la méthode ordinaire, la recherche de l'*image égale*. On éclaire d'abord les divisions O et O′ à l'aide du miroir *m* et l'on place en A, sur l'axe de l'appareil, l'*objectif* (par exemple) à mesurer, que l'on centre avec soin au moyen de mouvements de latéralité et de verticalité dont le support est muni.

Un système de débrayages ménagés dans les écrous *v* et *v′* permet alors de rendre libres les pièces correspondantes.

On déplace avec la main les deux supports mobiles, de manière à obtenir dans le microscope l'image des divisions du micromètre O en même temps que celles de O′. On replace les écrous sur les vis et l'on tourne l'une et l'autre indépendamment à l'aide des boutons C et C′, jusqu'à ce que les deux images soient absolument égales.

A ce moment l'instrument est *au point*, les micromètres O et O′ se trouvent dans les deux plans *principaux inverses* du système optique A, lesquels sont ainsi déterminés. Nous faisons une double lecture sur le banc horizontal, notant les divisions avec lesquelles coïncident exactement les zéros des deux verniers dont sont munis les supports A et O.

II. *Mesure de la distance focale.* — Il s'agit maintenant d'obtenir en O′ une image deux fois plus grande des divisions O.

Nous avons dit qu'il suffisait, pour cela, d'éloigner le système optique A d'une quantité égale à la distance focale et l'objet O d'une quantité moitié. Ce déplacement se fait pour ainsi dire automatiquement dans l'instrument. On engrène les deux vis *v* et *v′* avec le système de roues dentées qui se trouve en *c* à l'une des extrémités de l'appareil, et l'on tourne les boutons *c* ou *c′* : le système optique A s'éloigne alors d'une quantité 1, tandis que le

micromètre O ne s'éloigne que de $\frac{1}{2}$. Pendant cette opération l'œil fixé sur le microscope voit d'abord l'image des divisions O disparaître; puis, au bout d'un certain nombre de tours, celles-ci reparaissent, deviennent nettes et sont à ce moment deux fois plus grandes que les divisions O'.

On fait alors une seconde lecture pour avoir par différence les déplacements du système A et de l'objet O. Le premier donne la *distance focale* et le second la *moitié* de cette distance. Les deux lectures se contrôlent réciproquement. Cette distance focale est ainsi obtenue avec moins de $\frac{1}{10}$ de millimètre d'erreur.

III. *Indication de la position des plans principaux.* — La distance focale et la position des plans principaux inverses étant connues, il devient très facile de déterminer la position des *plans principaux* du système optique.

L'instrument est muni dans ce but d'un petit curseur *c* se déplaçant parallèlement au banc horizontal, sur la tige *ab*. Ce curseur porte une branche verticale *et* sur laquelle glisse une petite masse métallique *s* armée d'une pointe en acier du côté de l'axe de l'instrument. On opère à l'aide de cet appareil de la façon suivante :

1° Les micromètres O et O' sont de nouveau amenés dans les *plans principaux inverses;*

2° On détermine à l'aide de la pointe du curseur les divisions du banc horizontal qui coïncident avec les plans principaux inverses;

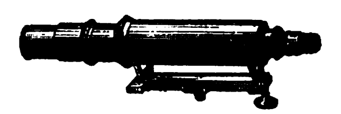
3° A partir de ces plans, on fait glisser, de part et d'autre successivement, le curseur vers l'objectif, en comptant deux fois la distance focale. La pointe du curseur se trouve à chaque fois dans le *plan principal* correspondant, qui est ainsi nettement fixé. Il suffit de l'appliquer sur la monture métallique du système optique pour y faire deux traits qui marquent les positions des plans principaux.

*Application de l'instrument à un système dioptrique quelconque.* — On détermine par le même procédé les constantes optiques d'un *oculaire* de microscope. Cet *oculaire* est placé en

B; il suffit de tourner le plateau sur lequel il est monté pour l'amener dans l'axe de l'appareil.

Mais un des résultats les plus intéressants obtenus avec ce *focomètre* consiste dans la détermination des constantes optiques du microscope considéré dans son ensemble. On remplace pour cela le support sur lequel se montent les objectifs et les oculaires, tels que A et B, par un support spécial (*fig.* 4) sur lequel on place

Fig. 4.



le microscope avec telle ou telle combinaison d'objectif et d'oculaire que l'on veut, et l'on procède comme il vient d'être dit.

Le numérotage des objectifs et des oculaires en dioptries, la détermination de la position de leurs plans principaux, ces mêmes mesures appliquées au microscope pris dans son ensemble et à tous les instruments grossissants, en général, tels sont donc en résumé les résultats obtenus à l'aide du focomètre que nous venons de décrire. Nous pensons avoir réalisé les vœux que forment depuis longtemps les micrographes pour l'unification du système de numérotage des objectifs de microscope. Nous osons espérer qu'ils aideront à l'application de ces mesures en exigeant des constructeurs que chaque instrument porte avec lui l'indication de ses constantes optiques.

Ainsi se généralisera peu à peu le *système d'unités dioptriques* établi par le Congrès d'Ophtalmologie de Bruxelles, en 1875.

---

## SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 juillet 1887 est lu et adopté.

M. Wolf, indisposé, s'excuse de ne pouvoir assister à la séance et prie M. de Romilly de vouloir bien donner lecture de la Note suivante :

« La Société a éprouvé, pendant les vacances, des pertes nombreuses et

qui seront vivement senties. La veille même de notre dernière séance, le 16 juillet, mourait un de nos Confrères les plus aimés et les plus distingués. Alfred Terquem, correspondant de l'Institut, professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Lille, était enlevé subitement à la Science et à l'affection de sa famille par un mal qu'il portait depuis plusieurs années avec un courage stoïque. Né à Metz, le 31 janvier 1831, d'une famille dont le nom était déjà bien connu dans les Sciences mathématiques et géologiques, élève de l'Ecole Normale en 1849, puis successivement professeur à Metz, à Châteauroux, préparateur à l'École, professeur aux Facultés des Sciences de Strasbourg, de Marseille et de Lille, Terquem a laissé partout le souvenir d'un camarade et d'un Collègue éminemment sympathique et serviable, d'un professeur disert et admirablement clair dans son enseignement, d'un travailleur infatigable et souvent heureux dans ses recherches scientifiques. Je rappellerai surtout qu'il a eu le très grand mérite d'être presque seul en France, pendant plusieurs années, le représentant d'une des parties de la Physique trop abandonnée aujourd'hui, l'Acoustique, au développement de laquelle il a contribué par d'importantes recherches. Ses travaux et sa vie ont été retracés par une plume amie, dans une Notice que nous avons tous lue avec émotion et gratitude. Le titre de correspondant de l'Académie des Sciences était venu honorer et consoler les derniers jours de notre ami. Il n'en a pas joui longtemps; mais ni les savants ni ses camarades et Collègues n'oublieront sa mémoire.

» J'ai moins connu un autre Collègue, enlevé aussi, il y a quelques jours, à notre Société, M. Bourget, recteur de l'Académie de Clermont. Je l'ai connu assez pour apprécier la haute valeur de ce savant modeste, mais profondément érudit, et la grâce de son caractère.

» Elève de l'École Normale en 1842, dix ans après il était docteur ès Sciences mathématiques et professeur à la Faculté de Clermont dès sa fondation. Plus tard, il accepta les fonctions de directeur des études à Sainte-Barbe, puis il fut nommé recteur à Clermont-Ferrand. C'est là qu'il est mort en septembre.

» Ses travaux ont eu pour objet les Mathématiques pures, la Mécanique, la Physique mathématique et surtout la Mécanique céleste. Je citerai seulement ses Mémoires sur les séries de Taylor et de Maclaurin; sur les permutations; sur le rendement des machines thermiques; sur la théorie mathématique des expériences de Pinaud, ou le son produit par la rentrée de l'air dans une boule de thermomètre après qu'elle a été échauffée; sur les vibrations des membranes; sur l'influence de la rotation de la Terre sur le mouvement des corps pesants à sa surface. Au point de vue de la Mécanique céleste, Bourget a étudié l'attraction des paraboloïdes elliptiques, la fonction perturbatrice, l'application des nombres de Cauchy, le développement en série des coordonnées d'une planète, les conditions d'équilibre de l'anneau de Saturne et l'hypothèse cosmogonique de Laplace. Au milieu des multiples travaux de l'administration, Bourget a su conserver encore

le temps de poursuivre ses recherches mathématiques, et il a pu en mourant se dire que sa vie d'homme de science avait été bien remplie.

» Notre Société, Messieurs, ne comprend pas uniquement des savants et des chercheurs. Aux uns et aux autres, il faut l'aide d'un artiste pour qu'ils puissent faire connaître les détails de leurs expériences. Tous ceux d'entre nous qui ont eu à faire graver les dessins de leurs appareils avaient apprécié le talent et l'aménité de caractère de M. Perot. La Société a perdu par sa mort un de ses Membres fondateurs et un de ses collaborateurs les plus utiles, beaucoup d'entre nous un véritable ami.

» J'ai encore le douloureux devoir de vous faire part de la mort de M. Gower, un Ingénieur électricien bien connu dont le nom restera attaché à des découvertes utiles;

» De M. Couvreux, juge au tribunal de Châtillon-sur-Seine, et de M. Bertholomey, professeur au collège de Tulle. »

M. le Secrétaire général signale dans la Correspondance : 1° une Note de M. Bandsept *Sur l'imprégnation des tissus par pulvérisation;* 2° l'envoi par M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts du programme du Congrès des Sociétés savantes à la Sorbonne en 1888, et annonce qu'un grand Concours international des Sciences et de l'Industrie et une Exposition universelle internationale auront lieu à Bruxelles en 1888.

M. Mascart présente à la Société un appareil de M. Colladon pour la reproduction artificielle des trombes. Cet appareil se compose d'un grand vase de verre cylindrique à fond concave, rempli d'eau et au fond duquel on a mis un peu de sciure de bois; vers les trois quarts de sa hauteur se trouve un agitateur à palettes mobile autour d'un axe vertical coïncidant avec l'axe du vase.

Quand on fait tourner cet agitateur avec une vitesse modérée, la sciure de bois s'élève, au bout de quelques instants, jusqu'aux palettes, en une colonne ondoyante dont l'aspect rappelle celui des trombes aériennes. Avec une vitesse de rotation plus grande, on voit en même temps la surface de l'eau se creuser en forme d'entonnoir et descendre jusqu'à l'agitateur.

Pour M. Mascart, il n'y a qu'une analogie apparente entre cette expérience et les tornados; elle semble, au contraire, reproduire fidèlement les tourbillons des rivières et rendre compte des affouillements que ces tourbillons déterminent toujours au fond des cours d'eau ([1]).

M. Gernez, dans une précédente Communication (séance du 18 mars 1887), avait exposé les résultats de ses recherches sur les modifications que des additions successives de molybdate de soude faisaient subir au pouvoir rotatoire de l'acide tartrique.

---

([1]) La figure ci-jointe montre le relevé d'une photographie instantanée, prise à l'instant même où la trombe atteint la roue à palettes, qu'on tourne avec une

M. Gernez a étudié par le même procédé l'action du molybdate d'ammoniaque qui, lui aussi, donne naissance à des rotations considérables devant lesquelles l'action, sur la lumière polarisée, de l'acide tartrique resté libre est sensiblement négligeable. Cette étude a donné les résultats suivants :

Quand on ajoute à $1^{éq}$ d'acide tartrique des poids successifs de molybdate, les rotations croissent à peu près proportionnellement à la quantité de sel ajouté, jusqu'à ce que celle-ci atteigne $\frac{1}{4}$ d'équivalent. Pour des quantités comprises entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{3}$ d'équivalent, l'augmentation de rotation, rapportée au même poids de sel, n'est plus que la moitié de ce qu'elle était

---

vitesse de quatre à cinq tours par seconde, en faisant faire un tour par seconde à la manivelle; mais si l'on continue de tourner avec la même vitesse, la trombe devient *cylindrique* ou *presque cylindrique*.




Si l'on tourne beaucoup plus vite, l'air descend quelquefois jusqu'à la roue à palettes, et l'on a deux trombes, l'une ascendante et l'autre descendante, qui luttent et se croisent.

d'abord. Pour $\frac{1}{3}$ d'équivalent, on observe un maximum de rotation qui persiste jusqu'à $\frac{7}{8}$ d'équivalent environ. Pour des quantités de sel plus grandes, la rotation diminue rapidement jusqu'à $1^{éq}$ pour garder, au delà, une valeur constante.

Ces résultats s'interprètent de la manière suivante : le molybdate d'ammoniaque se combine d'abord en totalité à l'acide tartrique pour former un composé renfermant $\frac{1}{4}$ d'équivalent de molybdate pour $1^{éq}$ d'acide; puis, par des additions ultérieures, ce composé se transforme en un autre plus stable renfermant $\frac{1}{3}$ d'équivalent de sel; ce dernier, enfin, se détruit quand la proportion de sel dépasse $\frac{7}{8}$ d'équivalent et fait place à une troisième combinaison tout à fait stable et formée à équivalents égaux.

Il est intéressant de remarquer que, étant donnée la composition du molybdate d'ammoniaque, $7MoO^3, 3AzH^4O$, le composé à $\frac{1}{3}$ d'équivalent renferme précisément $1^{éq}$ d'ammoniaque pour $1^{éq}$ d'acide tartrique, ce qui le rapproche du composé à équivalents égaux d'acide tartrique et de molybdate de soude.

M. Maumené expose à la Société le résumé des recherches nouvelles qu'il a faites pour expliquer le désaccord des moyens qu'il avait indiqués en 1869 pour obtenir l'*inactose* et des propriétés qu'il avait reconnues à cette variété de sucre, intermédiaire entre le sucre normal dextrogyre et le sucre inverti lévogyre.

Plusieurs chimistes avaient cru pouvoir contester l'existence de l'inactose, non en répétant la préparation au moyen du sucre normal et de l'azotate d'argent, moyen dont M. Maumené faisait usage (en appliquant sa théorie générale de l'action chimique), mais en cherchant ce *sucre optiquement neutre* dans des conditions où sa formation paraissait naturelle, par exemple dans l'action du sucre et de $CO^2$, étudiée par von Lippmann.

On arrive par cette action à l'inversion complète du sucre, dont M. Maumené a, le premier, fait observer que le chiffre maximum est $-42°$ *au moins,* au lieu de 38° indiqué par Biot; ce que von Lippmann a confirmé plus tard en montrant que l'action de $CO^2$ conduit jusqu'à $-44°$.

Dans le passage de $+100°$ à $-44°$, von Lippmann a cherché l'inactose et n'a pas réussi à l'obtenir.

M. Maumené explique le désaccord d'une manière très simple :

Le sucre dont il s'était servi (la *poudre blanche* des fabriques), toujours un peu alcalin, permet à l'azotate d'argent d'influencer la constitution moléculaire du sucre juste au point de la rendre optiquement neutre, et de former une *espèce* bien définie. Ce sucre reste des mois entiers avec son inactivité, non seulement optique, mais chimique. Il n'agit pas avec la liqueur TCuK; il s'unit encore aux alcalis, à CaO notamment; mais $CO^2$ le sépare avec sa saveur sucrée et ses autres propriétés.

La plus faible trace d'acide en produit l'inversion rapide.

Le sucre candi *pur* ne produit pas l'inactose, parce que l'acide hexépique $C^{12}H^{12}O^{16}$, découvert par M. Maumené, acide dont on ne peut éviter la formation, détruit ce sucre à mesure de sa formation.

Ce même sucre candi, additionné de quelques dix-millièmes d'alcali, devient sur-le-champ tout à fait propre à donner l'inactose.

Les poudres blanches, neutralisées par quelques dix-millièmes d'acide, perdent immédiatement la faculté de le produire.

Avec l'acide $CO^2$, sous pression, l'inactose ne pouvait éviter l'inversion complète; von Lippmann ne pouvait en obtenir aucune trace.

On ne connaît pas le quartz neutre, mais l'acide tartrique inactif était un précédent. L'inactose offre ce caractère spécial d'être produit avec le sucre, dont on ne connaît pas de variété lévogyre.

M. Létang présente un nouveau régulateur de lumière électrique.

Cet appareil comporte deux organes différents : l'un, constitué par une sorte de frein, a pour mission de séparer les deux charbons et d'allumer l'arc; l'autre, qui se compose d'une trembleuse ordinaire, est chargé, au contraire, de rapprocher les charbons au fur et à mesure de leur usure. L'indépendance de ces deux organes permet d'arriver à une grande sensibilité dans le fonctionnement, sans nécessiter des soins spéciaux et minutieux dans leur construction.

Grâce à ces divers perfectionnements, l'appareil peut fonctionner indifféremment en tension ou en dérivation, même avec des intensités de courant électrique très faibles.

M. Létang fait fonctionner sous les yeux de la Société trois de ses appareils actionnés par une batterie de 30 éléments au bichromate de M. Trouvé et présente également une série de photographies des diamants de la Couronne, obtenues à la lumière d'un arc puissant entretenu au moyen de 60 éléments des mêmes piles, qui, pour cet usage spécial, ont montré une supériorité incontestable sur les accumulateurs.

M. Robin présente, pour la réduction du baromètre à 0°, un *abaque* exclusivement composé de lignes droites d'un tracé très facile.

---

## *Recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude des composés formés par l'action du molybdate d'ammoniaque sur les solutions d'acide tartrique;* par M. D. Gernez.

J'ai montré précédemment ([1]) que les solutions d'acide tartrique droit, mises en contact avec un grand nombre de substances sans action propre sur la lumière polarisée, peuvent éprouver des modifications qui se traduisent par un changement considérable dans la nature et la grandeur de leur pouvoir rotatoire qui peut

([1]) Séance du 18 mars 1887, p. 70.

devenir, lorsqu'on emploie certaines substances, trente, quarante et jusqu'à soixante fois plus grand qu'il n'était avant l'addition de ces composés.

J'ai fait voir que l'on pouvait arriver à une interprétation relativement simple des phénomènes observés, si l'on comparait entre eux les résultats obtenus en faisant agir, sous le même volume et à la même température, sur un poids donné d'acide tartrique, des poids d'une autre substance représentant des fractions ou des multiples simples d'équivalents et j'ai indiqué les nombres relatifs à l'action qu'exercent sur une solution d'acide tartrique droit des poids de molybdate de soude graduellement croissants. L'inspection de ces nombres conduit aux remarques suivantes : 1° lorsqu'on ajoute à 1 équivalent d'acide tartrique des poids de molybdate de soude progressivement croissants jusqu'à $\frac{1}{2}$ équivalent, les rotations sont rigoureusement proportionnelles aux quantités de molybdate de soude; 2° pour des quantités de ce sel comprises entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{2}{3}$ d'équivalent, les rotations augmentent encore de quantités égales pour des additions égales, mais l'augmentation est plus grande que dans le cas précédent; 3° pour des additions ultérieures et jusqu'à 1 équivalent de molybdate de soude, les rotations continuent à augmenter; 4° dès que le poids de molybdate de soude atteint 1 équivalent, la rotation prend une valeur maxima qui n'éprouve qu'une très faible diminution pour des additions ultérieures qui peuvent porter la quantité totale à 7 équivalents.

On peut interpréter ces résultats en admettant que, dès que la première quantité de molybdate de soude est mise au contact de l'acide tartrique, elle se combine en totalité avec une partie de cet acide (1) pour donner un composé dont le pouvoir rotatoire est beaucoup plus grand que celui de l'acide, composé qui continue à se former pour chaque addition nouvelle de molybdate de soude jusqu'à ce que le poids total soit de $\frac{1}{2}$ équivalent.

---

(1) Le pouvoir rotatoire de ces composés étant très grand par rapport à celui de l'acide tartrique (il peut s'élever à trente-huit fois ce dernier), l'action de l'acide tartrique non combiné est assez faible pour que, dans la différence des rotations correspondant à deux expériences consécutives, elle soit de l'ordre des erreurs expérimentales.



Ce composé serait formé de 1 équivalent d'acide tartrique uni à $\frac{1}{2}$ équivalent de molybdate de soude et serait représenté par

$$C^8H^6O^{12}\tfrac{1}{2}(NaO, MoO^3).$$

L'addition de nouvelles quantités de sel donnerait lieu à la formation d'un nouveau composé, qui coexisterait dans le liquide avec une partie graduellement décroissante du premier jusqu'à la complète transformation de celui-ci. Ce résultat serait atteint lorsque tout l'acide tartrique se serait uni à 1 équivalent de molybdate de soude. Ce nouveau composé

$$C^8H^6O^{12}, NaO, MoO^3$$

aurait une stabilité assez grande pour n'être que très peu modifié par l'addition de six autres équivalents de molybdate de soude.

J'ai étudié, par le même procédé et avec le même dispositif expérimental, l'action qu'exerce le molybdate d'ammoniaque sur les solutions d'acide tartrique droit : les expériences ont été un peu plus laborieuses en raison de la coloration assez rapide des solutions, par suite de la réduction du molybdate d'ammoniaque.

Je transcrirai ici les données numériques d'une seule des séries d'expériences que j'ai effectuées : c'est la plus complète, et les autres, moins étendues dans un sens ou dans l'autre, conduisent tout à fait aux mêmes conséquences. Elle comprend l'étude de vingt et un liquides obtenus en ajoutant à 1 équivalent d'acide tartrique des quantités de molybdate d'ammoniaque croissant graduellement depuis $\frac{1}{512} = \frac{1}{2^9}$ d'équivalent jusqu'à $1^{\text{éq}},5$.

On les obtenait en dissolvant $2^{\text{gr}},5$ d'acide tartrique dans l'eau distillée, ajoutant la quantité pesée de molybdate d'ammoniaque et l'eau distillée suffisante pour amener le volume total à occuper $100^{\text{cc}}$ à la température de $17°$, qui était aussi celle à laquelle on effectuait les mesures de rotations. La solution d'acide tartrique non additionnée de sel et observée dans le même tube de $105^{\text{mm}},7$ de longueur donnait une relation de $0°21',6$.

| Poids de molybdate d'ammoniaque. | Équivalents de ce sel pour 1éq d'acide tartrique exprimés en $\frac{1}{128}$ d'équivalent. | Rotations observées. | Variations de la rotation pour des poids égaux de sel. |
|---|---|---|---|
| gr 0,000 | 0,0 | ° ′ 0.21,6 | |
| 0,0402 | 0,25 | 0.32,0 | 41′,6 |
| 0,0805 | 0,5 | 0.42,5 | 42,0 |
| 0,161 | 1,0 | 1. 2,0 | 39,0 |
| 0,2415 | 1,5 | 1.21,0 | 38,0 |
| 0,322 | 2,0 | 1.41,0 | 40,0 |
| 0,482 | 3,0 | 2.21,0 | 40,0 |
| 0,644 | 4 = $\frac{1}{32}$ | 2.57,0 | 36,0 |
| 0,965 | 6,0 | 4. 5,0 | 34,0 |
| 1,288 | 8,0 | 5. 3,0 | 29,0 |
| 1,931 | 12,0 | 6.52,0 | 28,0 |
| 2,575 | 16,0 | 8.49,0 | 29,0 |
| 3,8625 | 24,0 | 13.22,0 | 34,0 |
| 5,150 | 32 = $\frac{1}{4}$ | 17.38,0 | 32,0 |
| 6,4375 | 40,0 | 19.50,0 | 16,0 |
| 6,866 | 42,66 = $\frac{1}{3}$ | 20.39,0 | 18,0 |
| 7,725 | 48,0 | 20.36,0 | — 0,56 |
| 9,0125 | 56,0 | 20.35,0 | — 0,12 |
| 10,300 | 64,0 | 19.47,0 | — 6,00 |
| 15,450 | 96,0 | 17.28,0 | — 4,34 |
| 20,600 | 128 = 1 | 16.44,0 | — 1,37 |
| 30,900 | 192 = 1,5 | 16.33,0 | — 0,17 |

L'examen de ces nombres conduit aux remarques suivantes : 1° les premières rotations croissent de quantités rigoureusement égales lorsqu'on ajoute des poids égaux de molybdate d'ammoniaque jusqu'à ce que ce poids soit à peu près $\frac{1}{32}$ d'équivalent de ce sel ; pour des poids plus grands, jusqu'à $\frac{1}{4}$ d'équivalent, les nombres s'écartent un peu de la proportionnalité ; 2° pour des quantités de sel comprises entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{3}$ d'équivalent, l'augmentation de rotation rapportée au même poids de sel change brusquement et devient à très peu près moitié de ce qu'elle était ; 3° on observe un maximum dont la grandeur est cinquante-sept fois la rotation de l'acide tartrique et qui correspond à un poids de molybdate d'ammoniaque égal à $\frac{1}{3}$ d'équivalent ; la rotation est très sensiblement constante pour des variations de poids de sel s'étendant de $\frac{42,66}{128}$ à $\frac{56}{128}$ d'équi-

valent; 4° pour des quantités plus grandes, la rotation diminue et prend une valeur à très peu près constante lorsque le poids de sel atteint 1 équivalent.

Ces résultats se prêtent à une interprétation analogue à celle que nous avons donnée pour le cas du molybdate de soude. Le molybdate d'ammoniaque, ajouté peu à peu à l'acide tartrique en excès, se combinerait en totalité avec une fraction de l'acide tartrique employé jusqu'à ce que le poids de sel fût de $\frac{1}{4}$ d'équivalent. Il se formerait une combinaison représentée par la formule

$$C^8H^6O^{12}, \tfrac{1}{4}(7MoO^3, 3AzH^4O, 4HO).$$

Cette combinaison éprouverait une modification brusque lorsque la quantité de molybdate d'ammoniaque passerait de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{4}$ d'équivalent. Il y aurait alors, aux dépens de tout l'acide tartrique et de la totalité du sel, formation d'un composé dont la formule serait

$$C^8H^6O^{12}, \tfrac{1}{3}(7MoO^3, 3AzH^4O, 4HO).$$

Ce composé, correspondant à la rotation maxima, est assez stable puisqu'il résiste aux additions de sel allant de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ équivalent environ.

Pour des quantités de sel plus grandes, ce composé se transformerait en un autre de pouvoir rotatoire plus faible et qui serait formé d'équivalents égaux d'acide et de sel

$$C^8H^6O^{12}, 7MoO^3 3AzH^4O, 4HO.$$

Ce composé, stable dans des limites relativement étendues, persisterait malgré l'addition de $\frac{1}{2}$ équivalent de molybdate d'ammoniaque qui n'aurait sur la combinaison qu'un effet à peine appréciable.

Ainsi le molybdate d'ammoniaque, comme le molybdate de soude, donne avec l'acide tartrique des combinaisons dont le pouvoir rotatoire est considérable; les plus nettes de ces combinaisons correspondent à un maximum. Or, tandis que pour le molybdate de soude le maximum se produit pour équivalents égaux de ce sel et d'acide tartrique, avec le molybdate d'ammoniaque il se produit lorsqu'on emploie $\frac{1}{3}$ d'équivalent de ce sel. Mais, si l'on considère que l'équivalent du molybdate d'ammoniaque

contient 3 équivalents de base, tandis que celui du sel de soude n'en contient qu'un seul, on reconnaît que la rotation maxima correspond à la formation de composés qui pour 1 équivalent d'acide contiennent tous deux 1 équivalent de base.

Il résulte évidemment de ces expériences que l'addition de ces sels en quantités progressivement croissantes aux solutions d'acide tartrique ne donne pas lieu à autant de combinaisons qu'on réalise de liquides ayant une composition particulière, mais qu'il se forme au sein des liquides un petit nombre de composés dont quelques-uns sont très stables et qui résultent, comme dans le cas des composés ordinaires, de l'union de nombres simples d'équivalents de chaque substance. Il faut donc renoncer à l'hypothèse de l'existence de combinaisons en proportions continûment variables par laquelle Biot avait cru pouvoir traduire ses expériences, exactes d'ailleurs, sur les acides tartrique et borique.

---

## *Abaque barométrique;*

par M. Paul Robin.

La correction à faire au baromètre, pour une température $\pm t$, est $\mp kht$. Pour une correction donnée C, les variables $h$ et $t$ sont les coordonnées d'une certaine hyperbole. En donnant à C une série de valeurs en progression arithmétique et en traçant le réseau des coordonnées et les courbes, on obtient un abaque réducteur à 0°.

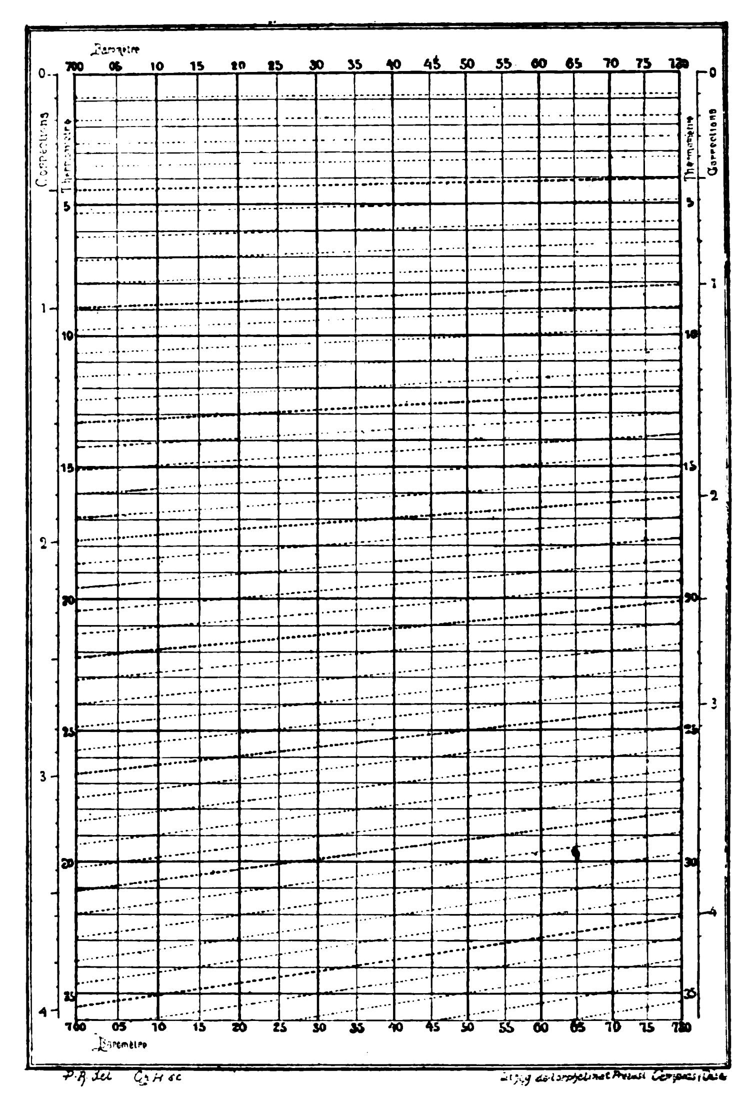
Mais le tracé des hyperboles est difficile et incertain : l'originalité de l'abaque présenté est de le remplacer par un tracé de lignes droites. Pour cela, il faut graduer l'axe des $h$ non en parties égales, mais en parties décroissantes proportionnelles aux valeurs des ordonnées $\frac{c}{kh}$.

Cette graduation s'obtient à l'aide de la construction simple qui donne la perspective d'un rectangle divisé en parties égales par des parallèles à la hauteur.

Pour construire cet abaque, on détermine d'abord à sa conve-

nance la dimension à lui donner, puis on le divise par des horizontales équidistantes sur lesquelles se liront les hauteurs du

ABAQUE RÉDUCTEUR A 0° DES OBSERVATIONS BAROMÉTRIQUES.




thermomètre. On détermine l'une des droites de correction C par deux points dont les coordonnées $h$, $t$ et $h'$, $t'$ satisfont aux condi-

tions $kht = C$, $kh't' = C$. La distance à l'origine d'une ordonnée $h$ est donnée par la formule $\frac{A}{h_0} - \frac{A}{h_n}$, la constante étant déterminée par cette condition que $\frac{A}{h_0} - \frac{A}{h_n}$ est égale à la largeur choisie pour l'abaque, $h_n$ étant la hauteur barométrique maximum portée sur l'appareil.

Dans l'abaque présenté, tout devient très simple : les hauteurs extrêmes sont : 700 et 780. La ligne de correction pour $4^{mm}$ sur les ordonnées extrêmes est déterminée par les deux valeurs de $t$, $\frac{4}{700k} = 35°,4$ et $\frac{4}{780k} = 32°,1$.

Les verticales 710, 720, etc., s'obtiennent par une construction familière aux perspecteurs, parallèles aux bases d'un trapèze, menées par le point de rencontre des diagonales.

Les lignes de correction de dixième en dixième de degré ont été obtenues en divisant en 40 parties les deux bases verticales du trapèze et joignant les points correspondants.

On se sert de cet abaque comme de tous les autres; une pointe mousse ou un angle de papier en facilite l'emploi. Placer cette pointe ou cet angle au point correspondant aux valeurs de $h$ et de $t$ observées. Lire sur quelle courbe (droite) de correction ou entre quelles courbes se trouve ce point et, dans ce dernier cas, le plus fréquent, interpoler à vue le $\frac{1}{20}$, le $\frac{1}{50}$ ou même le $\frac{1}{100}$ de millimètre.

Retrancher ou ajouter la correction à l'observation primitive.

---

## *Sur l'influence de la pression dans l'altération des chlorures par l'eau* (¹);

par M. G. Foussereau.

Dans un précédent travail (²), j'ai appliqué la mesure des ré-

(¹) Extrait d'un Mémoire plus étendu publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 6ᵉ série, t. XII, p. 393.

(²) *Voir* Séance du 4 mars 1887, p. 48.

sistances électriques à l'étude des modifications lentes éprouvées par les chlorures métalliques dans leurs dissolutions étendues, sous l'influence des diverses circonstances de temps, de température, de concentration et de composition des liquides observés.

La même méthode est applicable à l'étude des modifications éprouvées par ces dissolutions sous l'influence des variations de la pression. C'est ce point que je me suis proposé d'étudier dans ce travail.

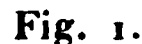
Comme les phénomènes observés sont très lents, on a pu effectuer toutes les mesures de résistances dans des conditions comparables, c'est-à-dire à une température voisine de 15° et sous la pression ordinaire de l'atmosphère. La marche adoptée dans les expériences consistait donc à déterminer une première fois la résistance d'une dissolution conservée à la température ordinaire pendant un temps assez long pour qu'on pût la regarder comme arrivée à son état d'équilibre. On soumettait ensuite ce liquide à une pression élevée pendant un temps déterminé, puis on le décomprimait et l'on faisait, aussitôt après cette opération, une nouvelle mesure de résistance, suivie d'une série d'autres mesures convenablement espacées.

J'ai employé le dispositif suivant. Le liquide à expérimenter est introduit dans une éprouvette cylindrique en verre AB, de $48^{cm}$ de hauteur et d'une capacité de $70^{cc}$. Cette éprouvette est fermée par un bouchon creux C, usé à l'émeri, dont la cavité se prolonge par un tube capillaire CDE recourbé parallèlement à la longueur de l'éprouvette. Le tube est muni d'un renflement F, d'une capacité d'environ $2^{cc}$, rempli aussi du liquide de l'expérience. Son extrémité ouverte terminée par un entonnoir G, plein d'air, plonge dans le mercure d'un grand bloc d'acier où l'appareil est enfermé.

Ce bloc est mis en communication avec une pompe Cailletet fournissant la pression nécessaire. La compressibilité du liquide a pour effet de faire rentrer à l'intérieur de l'éprouvette une partie de la dissolution contenue dans le renflement F. La masse d'air contenue en G se loge en partie dans le tube capillaire CDF. Le liquide de l'éprouvette est ainsi préservé du contact du mercure qui en est séparé par la longue colonne capillaire. L'appareil

demeure pendant l'expérience dans une salle de laboratoire dont la température varie peu.

Les expériences ont porté sur le perchlorure de fer et sur le chlorure d'aluminium. Pour étudier le premier de ces sels, j'ai choisi d'abord une dissolution très étendue, dont l'altération est relativement assez rapide. J'ai pu ainsi obtenir un effet sensible par une application peu prolongée de la pression. La dissolution employée contenait $\frac{1}{33260}$ de perchlorure de fer et était préparée depuis trois mois.


Fig. 1.




Immédiatement avant la compression, ce liquide était parvenu à une résistance correspondant à l'altération $K_0 = 0,9753$. Cette dissolution fut maintenue pendant 90 minutes à une pression de $175^{atm}$.

Aussitôt après la compression, la résistance avait diminué de 0,0102 de sa valeur. Cette variation correspond à un accroissement de l'altération qui a pris une valeur voisine de l'unité

$$K = 0,9989,$$

augmentant ainsi de 0,0236 de sa valeur. Le liquide abandonné à lui-même retourne ensuite peu à peu à son état primitif.

Le changement d'altération ne pouvait, dans ce premier exemple,

atteindre une grande valeur, puisque le liquide essayé a déjà subi à la pression ordinaire une altération peu différente de l'unité. Il y avait donc lieu d'étudier le phénomène sur un liquide plus concentré, dont la limite d'altération, dans les conditions ordinaires de température et de pression, diffère beaucoup de l'unité.

J'ai expérimenté, dans ce but, sur une dissolution contenant $\frac{1}{5414}$ de perchlorure de fer préparée depuis un an. Après 10 heures de compression, la résistance a diminué de $\frac{1}{25}$ de sa valeur, et de $\frac{1}{22}$ après 24 heures. Les accroissements d'altération correspondants atteignent $\frac{1}{15}$ et $\frac{1}{13}$; le retour à l'état primitif, après la décompression, s'effectue lentement, comme on pouvait le prévoir. Il n'est pas encore complet après 135 jours, mais l'accroissement d'altération s'est alors réduit à $\frac{1}{69}$.

Il restait à examiner si le perchlorure de fer constitue un cas isolé, ou si les autres chlorures dont j'ai étudié l'altération lente et spontanée se comportent comme lui sous l'influence des variations de pression. J'ai choisi comme nouvel exemple une dissolution de chlorure d'aluminium au $\frac{1}{20185}$, et j'ai constaté que la résistance diminuait de $\frac{1}{132}$ de sa valeur, sous l'influence d'une compression à $250^{atm}$ pendant 19 heures 40 minutes. Le retour à l'état primitif a lieu comme dans les cas précédents.

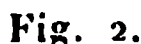
En résumé, les grandes variations de la pression exercent une influence notable sur la limite d'altération des chlorures. Cette influence consiste, dans les cas étudiés, à faire croître l'altération du liquide, à mesure que la pression croît. La vitesse d'altération est aussi plus grande sous les fortes pressions que sous la pression atmosphérique.

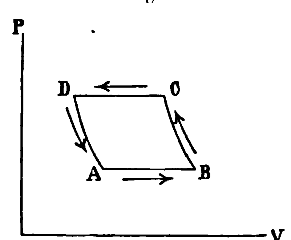
L'application des principes de la Thermodynamique aux faits qui précèdent permet d'en tirer une conséquence nouvelle.

Supposons qu'on fasse éprouver à une masse du liquide considéré une série de modifications à température constante, constituant un cycle fermé. Les états successifs que prend le corps peuvent être représentés par un contour rapporté à deux axes sur lesquels on porte les volumes et les pressions. Prenons le liquide à une certaine pression $p$, et supposons son altération initiale plus grande que la limite correspondant à cette pression. Le corps, abandonné à lui-même sous pression constante, se rapprochera de cette limite. Cette modification chimique aura, en général, pour

effet, de changer le volume du corps dans un certain sens. La transformation éprouvée sera donc représentée par une droite horizontale AB.

Comprimons maintenant le liquide jusqu'à une pression nouvelle $p'$. Ce changement sera représenté par une ligne telle que BC. Si nous abandonnons le liquide à lui-même à cette nouvelle pression, son altération augmentera, puisque la limite d'altération croît à mesure que la pression s'élève. Une droite horizontale CD figurera ce nouveau changement. Enfin ramenons le liquide à la


Fig. 2.




pression $p$, en opérant de manière à lui faire reprendre son état primitif : le cycle se fermera par la courbe DA.

L'aire de ce cycle représente un travail dépensé par le corps, si le contour est parcouru dans le sens des flèches. Il représente un travail fourni par le corps, s'il est parcouru en sens contraire. Ce dernier parcours ne peut être réalisé, puisqu'il entraînerait la production d'un travail par la consommation de chaleur empruntée au milieu ambiant, dont la température est supposée invariable pendant toute l'expérience. Le phénomène serait contraire au principe de Carnot [1]. La transformation ne peut donc avoir lieu que dans le sens des flèches. Le changement éprouvé à la plus haute pression doit entraîner une diminution de volume.

Il en résulte que dans le cas où nous sommes placés, d'après le résultat de l'expérience, c'est-à-dire quand l'altération limite croît avec la pression, l'accroissement d'altération à pression et tempé-

---

(1) M. Moutier a déjà fait remarquer que, si un système quelconque peu éprouver à température constante des transformations constituant un cycle fermé, le principe de Carnot conduit pour ce système à la condition $\int dQ < 0$, c'est-à-dire qu'il y a dégagement de chaleur et consommation de travail.



rature constantes correspond à une diminution de volume. Cela revient à dire que les produits de la décomposition réversible des chlorures de fer et d'aluminium par l'eau forment une dissolution d'une densité plus grande que le chlorure primitif. Cette variation de densité pourrait être nulle, mais elle ne peut changer de signe.

---

## *Sur la décomposition réversible de divers sels par l'eau* (1);

par M. G. Foussereau.

Les phénomènes de décomposition lente et limitée, que j'ai précédemment étudiés, sur les chlorures métalliques (2), se manifestent aussi dans un grand nombre d'autres substances. Les faits que j'exposerai dans ce travail se rapportent aux sulfates et aux acétates. L'étude de ces classes de sels a été faite par la mesure des résistances électriques, conformément à la méthode que j'ai décrite dans un précédent Mémoire.

### I. — Sulfates.

*Sulfate ferrique.* — Quand on maintient longtemps à l'ébullition une dissolution de sulfate de peroxyde de fer, il s'y dépose peu à peu un sel basique qui a perdu la propriété de se redissoudre dans la liqueur refroidie. M. Berthelot a été conduit par l'observation de ce fait à penser que la décomposition du sel en acide et sulfate basique soluble pouvait être effectuée en partie au sein de la liqueur, avant toute précipitation.

La méthode calorimétrique n'ayant pas la sensibilité nécessaire pour constater directement cette décomposition, j'ai repris l'examen de cette question par la méthode électrique, en opérant sur des dissolutions très étendues. J'ai reconnu que la décomposition du sulfate ferrique présente les mêmes caractères que celle

(1) Extrait d'un Mémoire plus étendu publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XII.
(2) *Voir* Séance du 4 mars 1887, p. 48.

du chlorure correspondant, avec cette différence cependant que le sulfate est plus stable et qu'il faut une dilution plus grande pour obtenir, même à 100°, l'altération complète. La résistance d'une dissolution contenant $\frac{1}{87,0}$ d'équivalent par litre a diminué des fractions suivantes de sa valeur primitive :

| Températures. | Temps. | Diminutions de résistance. |
|---|---|---|
| 15°...................... | 32 jours | 0,0564 |
| 83...................... | 1 heure | 0,0867 |
| 100...................... | 15 minutes | 0,1032 |

A cette concentration, la diminution de résistance dépasse à peine $\frac{1}{10}$ de la résistance primitive.

Pour les concentrations $\frac{1}{896,4}$ et $\frac{1}{2175}$ d'équivalent, les altérations sont plus accentuées.

*Sulfate d'alumine.* — Le sulfate d'alumine se comporte de même. La marche de son altération est presque identique à celle du chlorure d'aluminium, c'est-à-dire que l'altération n'est sensible à froid qu'aux très grandes dilutions, tandis qu'elle a lieu à 100° pour des liqueurs assez concentrées. L'influence de la température est donc ici très marquée.

*Alun.* — L'addition d'un sulfate alcalin au sulfate dissocié pouvait apporter des modifications importantes dans la marche du phénomène. Il résulte en effet des expériences de M. Berthelot que, dans les dissolutions concentrées, l'acide sulfurique mis en liberté par la décomposition du sulfate métallique (sulfate ferrique) se combine au moins en partie avec le sulfate alcalin pour former un bisulfate dissous. S'il en est encore ainsi dans les dissolutions très étendues, le grand accroissement de conductibilité, qui résulte de la mise en liberté de l'acide sulfurique, disparaîtra ou sera très atténué. Il y aura simplement passage de l'acide d'une molécule saline à une autre, ce qui ne paraît pas devoir modifier la conductibilité dans de grandes proportions.

On trouve que la variation de conductibilité est peu différente de ce qu'elle serait si le sulfate d'alumine était seul dissous dans

l'eau. Il en résulte que, s'il y a production d'un bisulfate, ce phénomène doit être très limité à cette grande dilution. Ce résultat est d'accord avec celui de M. Berthelot, d'après lequel le bisulfate de potasse dissous se décompose à mesure qu'on fait croître la quantité d'eau.

En résumé, l'étude des sulfates que nous venons d'examiner conduit à des résultats très analogues à ceux que fournit l'étude des chlorures.

## II. — Acétates.

Les acétates métalliques, notamment les acétates de zinc et de cuivre, déposent aussi peu à peu, quand on fait bouillir leurs dissolutions, un précipité d'acétate basique qui se forme à la longue, même à froid. M. Berthelot fait remarquer que cette précipitation est précédée d'un commencement de décomposition préalable fournissant des produits solubles; il n'a pas constaté de réversibilité dans cette décomposition préable, lorsqu'on opère sur des dissolutions contenant de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{10}$ d'équivalent par litre.

En opérant sur des dissolutions étendues, j'ai reconnu que cette réversibilité y existe. Mais elle ne se manifeste nettement que pour des dilutions beaucoup trop grandes pour permettre l'application de la méthode calorimétrique.

Qurnd on abandonne à elle-même une dissolution d'un acétate métallique, on observe que sa résistance croît avec le temps, contrairement à ce qui a lieu pour les chlorures et les sulfates. Cette différence de sens dans le phénomène physique s'explique aisément, si l'on remarque que les acides sulfurique et chlorhydrique conduisent mieux que leurs sels, tandis que le contraire a lieu pour l'acide acétique et en général pour les acides organiques, d'après les mesures de M. Bouty.

*Acétate de zinc.* — L'exemple suivant permet de juger de l'importance des altérations de ce sel.

CONCENTRATION : $\frac{1}{55,2}$ D'ÉQUIVALENT PAR LITRE.

| Températures. | Temps. | Accroissements de résistance. |
|---|---|---|
| 15°.................... | 15 jours | 0,0148 |
| 100..................... | 1 heure | 0,0432 |
| (Après refroidissement).. | 7 jours | 0,0172 |

Il existe pour chaque température une altération limite qui croît quand la température s'élève, et qui tend à reprendre la même valeur, chaque fois qu'on ramène le liquide aux mêmes conditions. Ce sont bien les caractères d'un phénomène réversible.

La décomposition de ces acétates présente cependant une marche très différente de celle des chlorures et des sulfates étudiés plus haut, en ce qui concerne l'influence de la concentration sur le phénomène. Dans ces derniers composés, l'altération va en croissant et tend vers l'unité, à mesure que la concentration diminue. Dans le cas actuel, au contraire, l'altération croît d'abord quand on étend la dissolution, atteint un certain maximum, puis diminue pour des dilutions plus grandes.

En examinant une série de dissolutions d'acétate de zinc de concentrations décroissantes, j'ai constaté que la variation relative de résistance passe par un maximum pour la concentration $\frac{1}{600}$ et décroît ensuite.

*Acétate de cuivre.* — Les phénomènes présentés par l'acétate de cuivre sont identiques à ceux que nous venons d'exposer relativement à l'acétate de zinc, avec cette différence cependant que les altérations varient pour l'acétate de cuivre entre des limites beaucoup plus étendues.

*Acétate de plomb.* — Ce sel est plus stable que les précédents. Il éprouve cependant à la température de 100° un commencement de décomposition réversible.

En résumé, les acétates étudiés subissent, avant toute précipitation, une altération réversible, avec production de sels basiques. Mais ils s'écartent des chlorures et des sulfates étudiés plus haut par l'influence très différente de la concentration. L'explication théorique suivante permettrait d'interpréter cette différence.

Les chlorures dissous donnent naissance, par leur décomposi-

tion, à un acide libre et à un hydroxyde ou hydroxychlorure, c'est-à-dire que le phénomène se réduit à la substitution, une ou plusieurs fois, du groupe $HO^2$ à Cl. Cette réaction n'exige que l'intervention d'une seule molécule du chlorure primitif, et la même observation peut être faite au sujet des sulfates.

Cette manière d'interpréter la réaction est d'accord avec ce fait, que l'altération tend à devenir plus complète à une température donnée, à mesure que la dilution croît, puisque la rencontre des produits formés, nécessaire pour amener la réaction inverse, devient de moins en moins fréquente.

Les phénomènes sont tous différents quand il s'agit des acétates de cuivre ou de zinc. Il résulte des expériences de M. Berthelot qu'il se forme dans la liqueur un acétate basique capable de donner lieu à un précipité par une modification nouvelle. L'hydroxyde ne se forme donc pas isolément dans la liqueur. Il s'unit à une ou plusieurs autres molécules d'acétate neutre pour donner l'acétate basique, de sorte que la réaction totale exige le concours simultané de *plusieurs* molécules d'acétate neutre.

Tant que le sel sera relativement abondant dans le liquide, la réaction pourra être favorisée par l'addition d'eau; mais, quand la dilution sera très grande, la rencontre des molécules d'acétate neutre deviendra moins fréquente et l'altération tendra à s'atténuer. On doit donc observer un maximum d'altération pour une certaine concentration, conformément au résultat de l'expérience. Mais je me hâte d'ajouter que ce résultat ne serait en rien compromis si ces vues théoriques se trouvaient inexactes.

---

## SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Colardeau (E.), Professeur au Lycée Saint-Louis.
Nougaret, Professeur au Lycée de Périgueux.
Renault, Licencié ès Sciences physiques, à Paris.
Poincaré (Lucien), Agrégé, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

M. le **Président** offre à la Société, de la part de M. G. **Rayet**, une brochure intitulée : *Notes sur l'histoire de la Photographie astronomique.*

M. **Cornu** dépose sur le bureau, au nom de M. **Salet**, le premier fascicule d'un *Traité élémentaire de Spectroscopie.*

M. le **Secrétaire général** annonce l'envoi : 1° d'une Note de M. **Delaurier** : *Recherches sur les causes probables de l'explosion d'un récipient;* 2° du *Règlement de l'exposition universelle de Barcelone.*

M. **Victor Popp** donne des détails sur ses procédés de distribution de la force motrice par l'air comprimé, appliqués à Paris depuis quelque temps sur une grande échelle par la Compagnie Parisienne de l'Air comprimé.

Il montre les appareils qu'il emploie pour les installations de force motrice destinés soit à la petite industrie, soit à l'éclairage électrique d'établissements importants, tels que : le Café américain, l'hôtel du *Figaro,* le Café de Paris, le Café anglais, le Jardin d'Hiver, etc.

M. Popp décrit ensuite les canalisations qu'il a déjà installées dans toute la région de Paris comprise entre la ligne des boulevards et la rue de Rivoli, canalisations placées tantôt en égouts, tantôt en tranchées, et dont la longueur est d'environ $50^{km}$.

M. Popp donne quelques détails sur l'usine qu'il vient de construire au n° 10 de la rue Saint-Fargeau, à Ménilmontant. Cette usine, dont la surface couverte est de plus de $2000^{mq}$ et qui occupe une superficie totale de $15000^{mq}$, possède déjà sept machines à vapeur de 400 chevaux et deux machines de 100 chevaux, formant un total de 3000 chevaux de force et pouvant prendre dans l'atmosphère, chaque jour, $95000^{mc}$ d'air pour les distribuer dans Paris à $6^{kg}$ de pression. La consommation de charbon est, en pleine marche, de $50000^{kg}$ de charbon par jour.

En terminant cette conférence, écoutée avec un très vif intérêt, M. Victor Popp promet à la Société de Physique de lui communiquer ultérieurement les renseignements techniques les plus complets sur les diverses applications de ses procédés.

M. **Dufet** communique à la Société les résultats généraux d'une Étude sur la dispersion des axes d'élasticité optique dans les cristaux clinorhombiques. Les mesures ont été faites à l'aide du microscope polarisant à spectroscope qu'il a présenté à la Société dans la séance du 18 juin 1886.

En général, l'angle que fait l'axe d'élasticité relatif à une couleur déterminée avec l'axe relatif à la raie D est très voisin d'une fonction linéaire de $\frac{1}{\lambda^2}$, c'est-à-dire qu'il suit à peu près la même loi que les indices eux-mêmes. Le borax, l'hyposulfite de soude, qui ont la dispersion croisée, la formiate de cuivre, l'hypophosphate monosodique, qui présentent une remarquable dispersion inclinée, suivent très exactement la loi. Le phosphate de soude ordinaire, et surtout le gypse, font exception; dans ce dernier corps, en

particulier, toutes les bissectrices des axes optiques sont d'un même côté de la bissectrice relative à la raie D.

M. P. Ledeboer présente, en son nom et au nom de M. G. Maneuvrier, quelques expériences d'électrométrie, relatives à une anomalie qu'ils ont rencontrée dans leurs recherches sur les courants alternatifs.

Ayant été amenés à employer la méthode homostatique (que M. J. Joubert a, le premier, appliquée aux courants alternatifs), ils ont dû préalablement graduer leur électromètre à quadrants, qui était un électromètre apériodique et très sensible de M. Curie. On sait que cette graduation consiste à déterminer, à l'aide d'un courant continu, la constante $k$ qui entre dans l'équation

$$\delta = kV^2, \tag{1}$$

qui définit la méthode homostatique.

L'une des paires de quadrants ainsi que l'un des pôles d'une pile constante étant *mis à la terre*, l'autre paire de quadrants ainsi que l'aiguille sont reliés à l'autre pôle isolé de la pile. Or, suivant que ce dernier est le pôle positif ou le pôle négatif, la déviation $\delta$ est notablement différente. On a

$\delta = 109^{mm}$ lorsque le pôle positif est relié à l'aiguille,
$\delta' = 81^{mm}$ lorsque le pôle négatif est relié à l'aiguille.

L'expérience, projetée sous les yeux des auditeurs par M. Pellin, est parfaitement concluante. La différence $(\delta - \delta')$ est donc égale à $28^{mm}$, c'est-à-dire à 30 pour 100 environ de la déviation moyenne $\frac{\delta + \delta'}{2}$. Cette dissymétrie est encore plus accusée lorsqu'on diminue la force électromotrice de la pile de charge; elle s'atténue, au contraire, lorsque celle-ci augmente. Dans les expériences de MM. Ledeboer et Maneuvrier, $\delta - \delta'$ a varié depuis 60 jusqu'à 5 pour 100 de la déviation moyenne $\frac{\delta + \delta'}{2}$.

Or, si l'on considère l'équation (1) comme s'appliquant rigoureusement à la méthode homostatique, le fait précédent se présente comme une anomalie inexplicable. On peut, au contraire, l'expliquer aisément et même en calculer d'avance tous les effets, si l'on admet l'influence d'une différence de potentiels parasite, qui préexiste dans l'instrument, entre l'aluminium de l'aiguille et l'acier des quadrants. En effet, introduisons cette différence $v$ dans la formule de l'électromètre, il vient

$$\delta = kV(V + 2v), \tag{2}$$

V étant le potentiel du pôle positif de la pile de charge. Si donc on change

de pôle, V se changera en $(-V)$, et l'équation deviendra

$$(2\ bis)\qquad \delta' = kV(V - 2v).$$

Enfin, si l'on forme la différence $\delta - \delta'$ et la somme $\frac{\delta + \delta'}{2}$ et qu'on en prenne le rapport, il vient

$$(3)\qquad \frac{\delta - \delta'}{\frac{\delta + \delta'}{2}} = 4\frac{v}{V}.$$

Ces trois équations expliquent le phénomène précédent avec toutes ses circonstances.

On voit de plus que l'on a

$$(4)\qquad \frac{\delta + \delta'}{2} = kV^2$$

et que, par suite, en faisant deux mesures, alternativement avec les deux pôles, et en prenant la demi-somme des déviations, on obtiendra directement la constante $k$, comme si le phénomène de dissymétrie n'existait pas.

Enfin, il est facile de démontrer par le calcul que cette dissymétrie n'interviendra pas dans l'application de la méthode homostatique aux courants alternatifs.

M. Ledeboer termine sa Communication en faisant remarquer que ces recherches ont été faites avec la collaboration de M. Maneuvrier, au mois d'août 1887. Or, depuis que les auteurs les ont publiées, ils ont appris :

1° Que ce phénomène était nettement indiqué dans le deuxième volume des *Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme*, de MM. E. Mascart et J. Joubert (*voir* p. 209);

2° Que M. Halwachs, de Leipzig, l'avait également remarqué et en avait fait une application à la mesure des forces électromotrices de contact (voir *Journal de Physique*, numéro du 15 novembre). MM. Ledeboer et Maneuvrier se font un devoir de rendre à qui de droit la priorité de cette remarque; ils ne font de réserves que pour l'étude qu'ils en ont faite au point de vue de la graduation de l'électromètre à quadrants dans la méthode homostatique.

---

## *Sur la dispersion des axes d'élasticité optique dans quelques cristaux clinorhombiques;* par M. H. Dufet.

Dans ce Mémoire, j'ai cherché à étudier, à l'aide du microscope polarisant que j'ai eu l'honneur de présenter à la Société ([1]), la dispersion des axes d'élasticité optique dans le cas le plus simple, celui des cristaux monocliniques, où les diverses bissectrices sont toutes comprises dans le plan de symétrie.

J'ai commencé par graduer en longueurs d'onde la vis micrométrique du spectroscope joint au microscope polarisant. On trouve ainsi le nombre de tours et de fractions de tour nécessaire pour passer de la raie D à une raie quelconque. Ce nombre reste constant, même si la plaque cristalline interposée n'est pas exactement à faces parallèles, ou si la mise au point varie quelque peu.

Dans le cas de la dispersion inclinée, j'ai en général utilisé des plaques normales à chacun des axes pour la raie D. On cherche l'angle dont il faut tourner la plaque à partir de la position relative à la raie D, lorsqu'on tourne un, deux et trois tours la vis micrométrique du spectroscope. On en déduit facilement l'angle extérieur et, à l'aide de l'indice moyen, l'angle intérieur de l'axe optique relatif à une longueur d'onde quelconque avec l'axe jaune.

On peut aussi opérer avec une plaque taillée perpendiculairement à la ligne moyenne, ou simplement normale au plan $g^1$, à la condition de déterminer l'angle de chacun des axes jaunes avec la normale à la plaque.

Dans le cas de la dispersion horizontale, on opère comme je l'ai indiqué dans une Note récente (*Bulletin de la Société de Minéralogie,* t. X, p. 106, *note*). On commence par mesurer l'angle des axes pour différentes couleurs. On calcule l'angle des axes intérieurs, en partant de l'angle des axes pour la raie D et des indices moyens. Ceci fait, la plaque cristalline est placée de manière que le plan des axes soit vertical, et inclinée jusqu'à ce qu'un des systèmes d'anneaux soit au centre du champ. Les sections principales du polariseur et de l'analyseur étant verticales, on voit

([1]) *Séances de la Société française de Physique,* p. 139; 1886.

dans le champ une ligne noire qui se déplace avec la couleur. Soit $\alpha$ l'angle dont il faut tourner la plaque cristalline pour amener successivement au centre la trace du plan des axes pour une raie donnée et pour la raie D, l'angle $\varphi$ des bissectrices correspondantes est donné par la formule

$$\sin\varphi = \frac{\sin\alpha}{n\cos V},$$

$n$ étant l'indice relatif à la couleur considérée, V le demi-angle intérieur des axes pour cette couleur.

Il est préférable, en particulier, dans le cas de la dispersion croisée, d'employer une plaque normale à l'axe relatif à la raie D, et de l'observer successivement avec le plan des axes horizontal et les nicols à 45°, et avec le plan des axes et les sections principales des nicols verticaux. On arrive à la même formule que dans le cas précédents, V étant toujours l'angle d'un axe optique avec la bissectrice située dans le plan de symétrie.

Les cristaux pour lesquels j'ai mesuré la dispersion des axes d'élasticité optique sont les suivants :

| | | |
|---|---|---|
| Borax | Dispersion | croisée. |
| Diopside | » | inclinée. |
| Formiate de cuivre | » | inclinée. |
| Gypse | » | inclinée. |
| Hypophosphate monosodique | » | horizontale. |
| » sesquisodique | » | inclinée. |
| Hyposulfite de soude | » | croisée. |
| Orthophosphate disodique à 24HO | » | inclinée. |
| Sucre de canne | » | inclinée. |

La variation de l'angle des bissectrices suit une loi voisine de celle de la variation des indices de réfraction; cet angle est très voisin d'une fonction linéaire de $\frac{1}{\lambda^2}$. Les courbes ayant pour abscisses les différences entre $\frac{1}{\lambda^2}$ et la valeur de $\frac{1}{\lambda^2}$ relative à la raie D, et pour ordonnées les angles d'une bissectrice et de celle relative à la raie D, sont très voisines d'être des droites. Sauf pour le phosphate de soude à 24HO, et surtout pour le gypse, on peut dire que les différences entre les courbes et une droite sont presque de l'ordre des erreurs d'observation.

Je me contente de rapporter ici ce résultat général de mes mesures, renvoyant pour les valeurs numériques au Mémoire que j'ai publié dans le *Bulletin de la Société française de Minéralogie*, t. X, p. 214.

---

## SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1887.

### PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 décembre est lu et adopté.

Une Commission, composée de MM. Caël, Dufet et Violle, est nommée pour vérifier les comptes de l'année 1887.

M. le Secrétaire général annonce l'envoi d'une Note de M. le comte L. Hugo, intitulée : *Sur une relation numérique se rattachant à une figure hémiédrique.*

M. H. Pellat présente à la Société, sous le nom d'*ampère-étalon*, un électrodynamomètre-balance semblable à l'électrodynamomètre absolu, qu'il a présenté il y a un an (3 décembre 1886), sauf que le nouvel appareil est de dimensions plus réduites.

L'ampère-étalon fournit l'intensité du courant $i$ d'après le nombre de grammes $p$ qu'il faut mettre dans le plateau de la balance pour équilibrer le couple électrodynamique, en se servant de la formule

$$i = M\sqrt{p},$$

dans laquelle M représente une constante invariable à un même endroit, indépendante même de la température, et qui d'un lieu à un autre varie comme la racine carrée de l'intensité de la pesanteur. Cette constante M est déterminée une fois pour toutes par comparaison avec l'électrodynamomètre absolu. Une fois cette constante déterminée, l'ampère-étalon peut rendre exactement les mêmes services que ce dernier instrument, tout en étant d'un prix beaucoup moins élevé, d'un transport plus facile et d'une sensibilité encore plus grande. L'ampère-étalon se compose d'une bobine mobile à axe vertical portant quatre à cinq couches d'un fil de cuivre isolé, de $0^{mm},8$ de diamètre. Cette bobine fait corps avec un fléau de balance portant à une de ses extrémités un plateau suspendu à la façon ordinaire; à l'autre, un contrepoids. Ce fléau est porté par un couteau d'agate placé au milieu de la bobine et reposant sur une chape d'agate. Le fléau porte à son extrémité une graduation regardée par un microscope à réticule.

La communication électrique de la partie fixée à la partie mobile se fait par deux fils d'argent de $0^{mm},1$ de diamètre, qui supportent sans danger des courants de $0^{amp},7$. La bobine fixe, à axe horizontal, entoure la bobine mobile. Sa longueur excède peu le diamètre de celle-ci; elle porte vingt couches d'un fil de cuivre isolé de $1^{mm}$ de diamètre.

Le même courant passe dans les deux bobines. On évite ou élimine l'action du magnétisme terrestre par l'un ou l'autre des procédés indiqués à propos de l'électrodynamomètre absolu.

La sensibilité de la balance permet d'apprécier à l'aide du microscope $\frac{1}{50}$ de milligramme; or un courant de $0^{amp},3$ est équilibré par $1500^{mgr}$. On apprécie donc $p$ à $\frac{1}{75000}$ et, comme $i$ est proportionnel à $\sqrt{p}$, l'erreur relative commise peut ne pas dépasser $\frac{1}{150000}$.

On peut mettre à profit la grande précision de cet appareil pour régler à l'aide d'un rhéostat, le courant même qu'on veut mesurer.

Cet appareil permet d'étalonner, par dérivation ou par d'autres méthodes, tous les appareils destinés à la mesure des courants. Associé à une résistance connue, il permet d'étalonner en valeur absolue les forces électromotrices des piles. Associé à une boussole des tangentes, il permet de déterminer immédiatement la composante horizontale du magnétisme terrestre.

Tous les ampère-étalons ayant leur constante déterminée par comparaison avec l'un d'entre eux donnent des indications qui, pour un même courant, ne peuvent différer de $\frac{1}{10000}$; l'intensité du courant se trouve ainsi exprimée en fraction d'un ampère qui ne doit pas différer de l'ampère vrai de plus de $\frac{1}{2000}$, d'après l'exactitude que comporte l'électrodynamomètre absolu.

M. Mascart entretient la Société de l'expérience trop peu connue des trois miroirs de Fresnel.

Cette expérience consiste à faire interférer deux faisceaux lumineux, issus d'une même source, dont l'un s'est réfléchi successivement sur deux miroirs plans et dont l'autre a subi une seule réflexion sur un troisième miroir placé entre les deux premiers, parallèle à leur intersection et très rapproché de cette droite.

Le réglage de l'appareil, plus facile que celui des deux miroirs de Fresnel, se fait de la manière suivante :

La source lumineuse est une fente éclairée, autant que possible, par la lumière solaire. Après avoir obtenu, à une très petite distance l'une de l'autre, les deux images correspondant aux faisceaux qui doivent interférer, on redresse la fente de manière à rendre ces deux images sensiblement parallèles, puis on incline le miroir intermédiaire jusqu'à ce qu'elles soient bien vis-à-vis l'une de l'autre; ce miroir est alors parallèle à l'intersection des deux premiers; quand son plan passe exactement par cette intersection, la droite sur laquelle devrait se former la frange centrale tombe en dehors de la région où les deux faisceaux lumineux interfèrent : c'est une particularité qui se rencontre parfois dans ce genre d'expériences, notamment avec

l'appareil où l'on fait interférer un faisceau direct avec un faisceau réfléchi une seule fois; mais il suffit alors de faire avancer un peu le miroir intermédiaire pour obtenir immédiatement la frange centrale. Même quand la fente est défectueuse, cette disposition donne des franges très nettes, parce que les deux images sont symétriques et interfèrent, pour ainsi dire, point par point, ce qui n'a pas lieu avec les deux miroirs.

Cette expérience fournit une méthode pour soumettre à un contrôle très délicat les formules de Fresnel relatives à la réflexion.

M. Mascart fait remarquer à ce sujet que les formules de Fresnel, qui, au premier abord, sont contradictoires avec celles que l'on déduit de la théorie de Neumann en supposant que les plans de polarisation et de vibration coïncident, sont, au fond, identiques à ces dernières et que, si l'on s'attache à représenter le sens de la vibration réfléchie par rapport à un observateur recevant le rayon réfléchi dans les mêmes conditions qu'il recevrait le rayon incident, les deux théories s'accordent pour conduire aux expressions suivantes de l'intensité de la vibration réfléchie :

Pour la lumière polarisée dans le plan d'incidence : $v = -\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)}$;

Pour la lumière polarisée perpendiculairement au plan d'incidence :

$$v' = +\frac{\operatorname{tang}(i-r)}{\operatorname{tang}(i+r)}.$$

Dans l'expérience des trois miroirs, la vibration ne change pas de signe pour le rayon qui s'est réfléchi deux fois, parce que le changement de signe qui a pu se produire sur l'un des miroirs s'est répété sur l'autre; le caractère des franges dépend donc uniquement du rayon réfléchi une fois.

Si la lumière est polarisée dans le plan d'incidence, il y a toujours changement de signe et la frange centrale est toujours noire.

Si la lumière est polarisée perpendiculairement au plan d'incidence, il y aura ou il n'y aura pas changement de signe et la frange centrale sera noire ou blanche, suivant que $i+r$ sera plus grand ou plus petit que $\frac{\pi}{2}$.

Si l'on fait varier le plan de polarisation depuis le plan d'incidence jusqu'à l'azimut perpendiculaire, on voit les franges, qui sont d'abord à centre noir, s'affaiblir peu à peu, disparaître pour un certain azimut, alors que les deux systèmes se neutralisent, puis reparaître avec une netteté croissante.

Enfin la lumière naturelle donne toujours une frange centrale noire, parce que la lumière se polarise partiellement dans le plan d'incidence et que le système de franges correspondant l'emporte toujours de beaucoup sur l'autre en intensité.

M. Mascart termine sa communication en répétant devant la Société, avec le concours de M. Pellin, l'expérience dans ces dernières conditions.

M. Robin présente de petits flotteurs en verre soufflé, pouvant indiquer

la densité des couches horizontales d'un liquide hétérogène, et donne des détails sur leur construction.

M. Wolf présente, au nom de M. Lutz, un nouvel équatorial pouvant servir à l'enseignement de la Cosmographie dans les établissements d'instruction secondaire, et comprenant :

1° Un cercle pour l'angle horaire, donnant la minute de temps; 2° un cercle de distance polaire; 3° un cadran de latitude.

La lunette, munie d'un chercheur, a une ouverture de $0^m,062$ et une longueur focale de $0^m,85$. Elle est équilibrée par des contrepoids et montée sur un pied à vis calantes qui pourrait supporter un réfracteur de 3 ou 4 pouces. L'instrument est enfin pourvu d'un oculaire terrestre et d'un oculaire astronomique.

---

## *Sur l'expérience des trois miroirs de Fresnel;*

Par M. Mascart.

1. On connaît l'expérience célèbre des *trois miroirs* par laquelle Fresnel (1) a démontré directement le changement de phase qui se produit dans la réflexion de la lumière.

Avant d'examiner cette disposition un peu complexe, nous ferons remarquer d'abord qu'il est possible avec un seul miroir de produire des interférences entre le faisceau direct des rayons émanés d'une source et le faisceau réfléchi.

La source S (*fig.* 1) étant à une distance $d$, très petite, du plan d'un miroir M, l'image S' est symétrique et à la distance $SS' = 2d$ de la source. Le faisceau réfléchi sur le miroir forme un cône A'S'B' limité par le contour de la surface et se trouve superposé au faisceau ASB qui provient directement de la source. Il peut donc y avoir interférence dans la partie commune; mais la frange centrale doit se trouver dans le plan de symétrie OC de deux sources S et S', qui n'est autre que le plan de la surface et qui est situé en dehors de la partie commune des faisceaux.

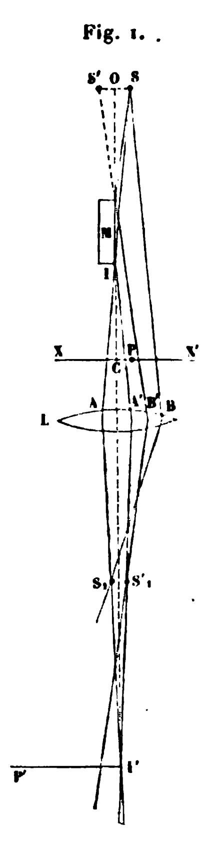
On n'aperçoit en effet les franges d'interférence que dans le voisinage de l'arête I du miroir où le faisceau réfléchi est le plus

(1) Fresnel, *Œuvres*, t. I, p. 703.

rapproché du plan de symétrie; la moitié seulement du système est visible et la frange centrale est noyée dans les bandes de diffraction, de sorte qu'il est difficile d'en reconnaître le caractère.

Pour amener le milieu des franges en un point P dans la région commune sur le plan XX′, il suffit d'établir un retard sur l'un des

Fig. 1.



faisceaux en interposant une lame réfringente mince sur le trajet de rayon direct. On rendra cette opération plus facile en recevant la lumière sur une lentille convergente L, de longueur focale convenable, qui donne deux images réelles $S_1$ et $S'_1$ des sources S et S′.

Les faisceaux réfractés se touchent au foyer conjugué I′ de l'arête I, et la frange centrale du système situé dans le plan I′P′ se trouve en ce point mêlée à des bandes de diffraction. Une lame mince de mica capable de produire un déplacement de trois ou

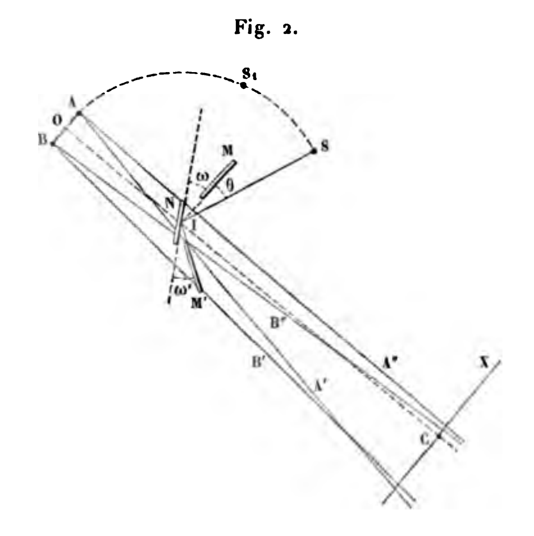
quatre franges étant interposée sur l'image $S_1$, le système sera reporté vers la gauche et l'on pourra constater facilement que la frange centrale est *noire*. La vibration réfléchie a donc changé de signe sur le miroir.

Toutefois on ne peut ainsi opérer que sous l'incidence rasante, et l'intervention d'une lame réfringente produit un retard inégal de systèmes relatifs aux différentes couleurs qui peut changer l'apparence de la frange centrale.

2. La disposition imaginée par Fresnel permet de choisir à volonté les angles d'incidence et d'obtenir un système complet de franges dans la région commune aux deux faisceaux.

Supposons que les plans des trois miroirs M, M' et N (*fig.* 2)

Fig. 2.




passent par une même droite I et prenons pour plan de figure le plan normal à l'arête commune qui passe par la source S; soient $\omega$ et $\omega'$ les angles des miroirs extrêmes M et M' avec le miroir intermédiaire N, $\theta$ l'angle que fait avec le premier miroir M le rayon SI qui tombe sur l'arête commune.

D'après les propriétés de la réflexion, le rayon réfléchi sur le miroir intermédiaire N a tourné de l'angle $2(\omega + \theta)$ et son image virtuelle A, étant symétrique de la source S par rapport au miroir N, est sur une circonférence de rayon $SI = a$ ayant pour centre le

point I. Si les miroirs M et M′ sont prolongés jusqu'à l'arête, le rayon réfléchi sur le premier a tourné de l'angle $2\theta$ et fait avec le miroir M′ l'angle $(\omega' + \omega - \theta)$; la rotation qu'il éprouve à la seconde réflexion étant $2(\omega' + \omega - \theta)$, sa rotation totale est $2(\omega' + \omega)$, et l'image virtuelle B, qui est symétrique par rapport au miroir M′ de l'image $S_1$ fournie par le miroir M, est située sur la même circonférence.

L'angle des images A et B vues du point I est

$$2(\omega' + \omega) - 2(\omega + \theta) = 2(\omega' - \theta).$$

Pour que les images A et B soient très voisines, il faut donc que les angles $\omega'$ et $\theta$ soient très peu différents. En posant $\omega' - \theta = \beta$, on a

$$AB = 2a \sin \beta;$$

l'appareil se comporte comme deux miroirs dont l'angle serait égal à $\beta$.

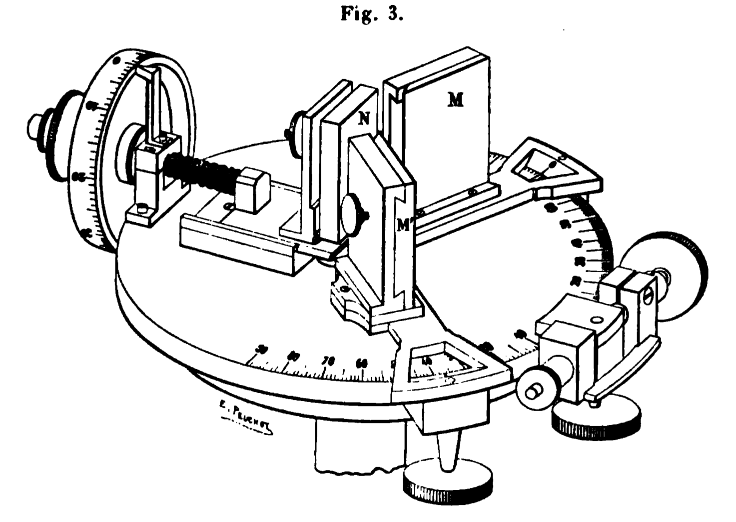
Remarquons cependant que, le miroir intermédiaire N ne pouvant être caché par les miroirs extrêmes, les faisceaux interférents A′AA″ et B′BB″ ne sont pas symétriques par rapport au plan OIC perpendiculaire au milieu O de la distance des deux images, qui passe par l'arête commune. Les franges qui se produisent dans un plan CX sont symétriques par rapport au point C; la frange centrale se trouvera donc sur le côté et même en dehors de la région commune. Pour la ramener au milieu de cette région, il faut augmenter le chemin des rayons doublement réfléchis, ou diminuer celui des rayons qui correspondent au miroir intermédiaire, c'est-à-dire *avancer* ce miroir N à l'aide d'une vis micrométrique qui le déplace parallèlement à lui-même.

Fresnel faisait $\omega' = \omega$; dans ce cas, le miroir M doit être à peu près bissecteur de l'angle des rayons incidents avec le miroir N, les rayons réfléchis sur le premier miroir M sont sensiblement parallèles au second et font le même angle $\theta$ avec le miroir M′. Il a réalisé l'expérience sous diverses inclinaisons, en donnant successivement à l'angle $\omega$ les valeurs $7^\circ 30'$, $15^\circ$, $20^\circ$, $25^\circ$, $27^\circ 30'$, $30^\circ$, $35^\circ$, $40^\circ$ (le maximum de cet angle est évidemment de $45^\circ$ puisqu'alors les rayons seraient normaux au miroir intermédiaire) et il a toujours vu le milieu du groupe de franges occupé par une bande noire.

3. Fresnel disposait ses miroirs d'après une épure en laissant l'un d'eux mobile par une vis micrométrique; il a remarqué aussi que l'on doit, à mesure que l'angle ω augmente, rapprocher les miroirs extrêmes de l'arête I, afin que le faisceau général utilisé n'ait pas une ouverture angulaire trop grande, auquel cas les vibrations aux différents points d'une même onde ne seraient plus absolument concordantes.

On peut répéter l'expérience très facilement à l'aide de l'appareil suivant (*fig.* 3) construit par M. Pellin. Les miroirs extrêmes

Fig. 3.




M et M' sont fixés à des bras mobiles qui tournent autour d'un axe I sur une plate-forme divisée; ils peuvent glisser dans des coulisses qui permettent de les rapprocher de l'axe. Le miroir intermédiaire N est monté sur la plate-forme et commandé par une vis micrométrique qui le déplace parallèlement à lui-même; une vis de rappel permet de le faire basculer autour d'un axe horizontal.

On met d'abord les miroirs M et M' dans le plan du miroir N, en faisant basculer le dernier de manière qu'il soit parallèle à l'intersection de deux autres; on tourne ensuite les deux premiers d'angles arbitraires ω et ω', et l'on vise une fente S. On oriente la fente et l'on achève le réglage de façon que les images A et B soient exactement parallèles et à la même hauteur. Pour placer ces images à la distance convenable, on fait tourner l'ensemble des trois

miroirs par la plate-forme elle-même; l'image B de double réflexion reste immobile pendant cette opération, puisque la rotation $2(\omega' + \omega)$ du rayon ne dépend que de l'angle des miroirs extrêmes, et l'autre se déplace. On fait en sorte que l'œil placé dans le plan CX d'observation voie en même temps les deux images sous un angle d'une dizaine de minutes, ce qui correspond à peu près à $3^{mm}$ à la distance de $1^{m}$, et les franges auront une largeur de $0^{mm},015$. On vise alors à la loupe le champ éclairé par le faisceau commun et, si les franges n'existent pas, il suffira de faire avancer lentement le miroir N par la vis micrométrique pour les voir apparaître.

L'emploi d'un miroir unique ou de trois miroirs présente même un avantage particulier, c'est que les images sont *symétriques*, de sorte que la frange centrale a exactement la même position pour tous les groupes de points correspondants deux à deux. On peut ainsi obtenir un phénomène très pur avec une fente plus large que dans le cas des deux miroirs.

4. Le but de Fresnel était de vérifier certaines vues théoriques, qu'il ne tarda pas à abandonner lui-même, sur le mécanisme de la réflexion; mais son expérience reste la démonstration la plus directe du changement de signe que la réflexion imprime dans certains cas à la vibration de la lumière.

Comme il s'agit ici de savoir si la vibration ou, plus exactement, sa composante parallèle à une direction quelconque, éprouve un changement de signe, il est clair que les rayons doublement réfléchis n'ont pas été modifiés; car les deux réflexions se faisant sous le même angle, si la vibration change de signe dans la première, elle change également dans la seconde et reprend son état primitif. L'existence de la frange centrale noire montre donc que, pour le rayon réfléchi sur le miroir intermédiaire, la vibration a changé de signe par la réflexion.

L'expérience de Fresnel est parfaitement correcte quand on opère avec de la lumière naturelle; mais le phénomène observé pour certaines incidences correspond en réalité à la superposition de deux systèmes de franges d'intensités inégales et de caractères différents : il est donc utile de la compléter en faisant intervenir l'état de polarisation de la lumière primitive.

5. Quoique la théorie de la réflexion établie par Fresnel pour les corps isotropes repose sur certaines hypothèses plus ou moins contestables, les formules qui en résultent paraissent conformes à toutes les observations, si l'on met à part les corps très réfringents, comme le diamant, et quelques phénomènes secondaires qui se manifestent au voisinage de l'angle de polarisation.

Les formules de Fresnel ne sont d'ailleurs vérifiées par expérience que dans l'hypothèse où les vibrations de la lumière polarisée sont perpendiculaires au plan de polarisation.

En appelant $i$ l'angle d'incidence de la lumière qui tombe sur la surface de séparation de deux milieux isotropes, $r$ l'angle de réfraction correspondant, et $a$ ou $b$ l'amplitude de la vibration primitive suivant qu'elle est normale au plan d'incidence ou située dans ce plan, l'amplitude de la vibration réfléchie est représentée par

$$a_1 = -a\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)} \qquad \text{ou} \qquad b_1 = -b\frac{\operatorname{tang}(i-r)}{\operatorname{tang}(i+r)}.$$

La différence de phase est nulle quand les vibrations incidente et réfléchie sont de même signe; le changement de signe de la vibration réfléchie équivaut à une perte de phase égale à $\pi$ ou à un retard d'une demi-longueur d'onde.

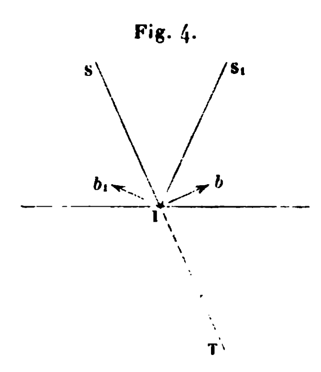
Quand le milieu inférieur est le plus réfringent $(i > r)$, il y a toujours changement de signe pour les vibrations normales au plan d'incidence. Pour les vibrations situées dans ce plan, les projections des amplitudes $b$ et $b_1$ (*fig.* 4) sur la surface de séparation sont encore des signes contraires tant que $i + r < \frac{\pi}{2}$; mais ces vibrations se superposent si l'on rabat le rayon réfléchi $IS_1$ sur le prolongement IT du rayon incident SI; il n'y a donc pas de changement de signe pour l'observateur qui reçoit alternativement le rayon incident et le rayon réfléchi. Le changement de signe apparaît lorsque $i + r > \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire quand on a dépassé l'angle de polarisation.

Dans l'expérience de trois miroirs, la vibration ne change pas de signe pour le rayon qui s'est réfléchi deux fois sous le même angle et le caractère des franges ne dépend que du rayon réfléchi sur le miroir moyen.

Lorsque la vibration est normale au plan d'incidence, il y a toujours changement de signe et la frange centrale doit être noire : c'est ce que l'on constate en effet avec une lumière polarisée dans le plan d'incidence.

Lorsque la vibration est dans le plan d'incidence, la frange centrale doit être blanche tant que la réflexion sur le miroir moyen satisfait à la condition $i + r < \frac{\pi}{2}$. L'observation est moins facile

Fig. 4.




parce que l'angle $2\omega$ devant être compris entre 35° (qui est à peu près l'angle de polarisation pour le verre) et 90°, ou l'angle $\omega$ entre 17°,5 et 45°, l'un au moins des deux faisceaux se réfléchit dans une direction voisine de l'angle de polarisation ; sauf pour une valeur particulière de l'angle $\omega$, les faisceaux interférents ont des intensités très inégales et les franges sont noyées dans un excès de lumière blanche qui permet difficilement de distinguer le caractère de la frange centrale.

On peut éluder cette difficulté en polarisant la lumière incidente dans un azimut intermédiaire. Quand on met un polariseur en avant de la fente, il est aisé de reconnaître que la frange centrale est noire tant que le plan de polarisation est voisin du plan d'incidence. Si l'on tourne alors le polariseur d'une manière continue, on voit les franges s'affaiblir peu à peu, s'évanouir pour un certain azimut, puis reparaître avec une netteté croissante jusqu'à ce que le plan de polarisation soit perpendiculaire au plan d'incidence. Il y a donc, en réalité, pour tout azimut intermédiaire de polariseur, superposition de deux systèmes de franges polarisées dans des plans rectangulaires, l'un à centre noir, l'autre à centre blanc,

qui proviennent des deux composantes principales de la lumière incidente; les franges s'évanouissent quand les deux systèmes sont exactement complémentaires.

On obtiendrait exactement les mêmes résultats avec une source de lumière naturelle en observant les franges à l'aide d'un analyseur.

Si l'on appelle $\theta$ l'angle du plan de polarisation avec le plan d'incidence, $i$ et $i'$ les angles d'incidence sur le premier et le second miroir, $r$ et $r'$ les angles de réfraction correspondants, et qu'on prenne pour unité l'amplitude de la vibration primitive, on a

$$a = \cos\theta, \qquad b = \sin\theta,$$

$$i = \frac{\pi}{2} - \omega, \qquad i' = \frac{\pi}{2} - 2\omega.$$

Les amplitudes $a_1$ et $a_2$ ou $b_1$ et $b_2$ des faisceaux réfléchis une fois et deux fois, suivant qu'ils sont polarisés dans le plan d'incidence ou dans le plan perpendiculaire, sont

$$a_1 = -\cos\theta\,\frac{\sin(i'-r')}{\sin(i'+r')}, \qquad a_2 = -\cos\theta\,\frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)},$$

$$b_1 = -\sin\theta\,\frac{\tang(i'-r')}{\tang(i'+r')}, \qquad b_2 = -\sin\theta\,\frac{\tang(i-r)}{\tang(i+r)}.$$

Si l'on a $i'+r' < \frac{\pi}{2}$ et $b_2 < b_1$, les franges s'évanouissent quand les amplitudes $a_2$ et $b_2$ sont égales, c'est-à-dire pour la condition

$$\tang\theta = \frac{\cos^2(i-r)}{\cos^2(i+r)}.$$

En faisant $\omega = 21°$, j'ai trouvé avec des miroirs de verre noir $\theta = 83°,5$. Si l'on prend 1,52 pour l'indice de réfraction du verre, la formule donne 83°25'; la concordance est donc aussi complète qu'on peut l'espérer d'une mesure approchée.

La lumière naturelle donne toujours une frange centrale noire, comme l'avait observé Fresnel. Elle équivaut, en effet, à deux faisceaux d'égale intensité polarisés dans les azimuts principaux ou à de la lumière polarisée dans l'azimut de 45°; les systèmes de franges superposées sont alors d'intensités très inégales, et le système polarisé dans le plan d'incidence donne son signe au phénomène résultant.

Les franges s'obtiennent aussi facilement quand le miroir moyen n'est pas perpendiculaire au plan bissecteur des miroirs extrêmes; les deux effets produits sur le rayon doublement réfléchi peuvent être alors de natures différentes, ce qui permet de varier beaucoup les conditions de l'expérience.

On a, en général, en appelant $i_1$ l'angle d'incidence sur le troisième miroir,

$$i = \frac{\pi}{2} - \omega',$$

$$i' = \frac{\pi}{2} - (\omega + \omega'),$$

$$i_1 = \frac{\pi}{2} - \omega.$$

Pour la condition $\omega < 35° < \omega'$, la vibration du rayon doublement réfléchi a changé de signe dans une des réflexions et celle du rayon réfléchi sur le miroir moyen n'a pas changé. La frange centrale est encore noire avec la lumière polarisée dans un plan normal au plan d'incidence, mais avec inversion du rôle des deux faisceaux.

6. Les formules de Fresnel relatives à la réflexion ont été vérifiées surtout par la rotation du plan de polarisation et par la mesure des intensités; l'expérience de trois miroirs fournit ainsi une troisième méthode pour les soumettre à un contrôle très délicat. On voit aussi comment il est possible d'utiliser l'expérience pour déterminer la différence de phase qui se produit dans la réflexion métallique par la mesure du déplacement des franges quand on opère successivement avec de la lumière polarisée dans les deux azimuts principaux.

Mac Cullagh et Neumann sont arrivés simultanément à ce résultat remarquable que le problème de la réflexion sur les milieux isotropes peut être résolu sans autre hypothèse que la concordance complète des vibrations dans les deux milieux sur la surface de séparation. Dans ce cas, l'amplitude de la vibration réfléchie, suivant que l'amplitude primitive $a$ ou $b$ est normale au plan d'incidence ou située dans ce plan, est

$$a_1 = a\frac{\tan(i - r)}{\tan(i + r)} \quad \text{ou} \quad b_1 = b\frac{\sin(i - r)}{\sin(i + r)}.$$

Au point de vue des intensités, on voit que la vibration située dans le plan d'incidence suit les lois données par l'expérience pour la lumière polarisée dans le même plan; il en résulterait donc que la vibration est dans le plan de polarisation.

Au point de vue de la vibration elle-même, ces formules nouvelles semblent indiquer qu'il n'y a pas de changement de signe pour le rayon voisin de la normale, mais cette contradiction avec les formules de Fresnel n'est qu'apparente. M. Cornu (¹) a montré déjà qu'on peut passer de l'un des systèmes de formules à l'autre par un simple changement de variables. Leur identité devient manifeste quand on considère la direction apparente de la vibration pour l'observateur.

En effet, pour la lumière polarisée dans le plan d'incidence, les formules de Mac Cullagh et de Neumann indiquent que les projections sur la surface des vibrations $b$ et $b_1$ sont de même signe si le milieu inférieur est plus réfringent ($i > r$); la *fig.* 4 montre qu'elles auront alors changé de signe pour l'observateur qui reçoit alternativement le rayon incident et le rayon réfléchi.

Pour la lumière polarisée dans un plan perpendiculaire au plan d'incidence, la direction apparente des vibrations $b$ et $b_1$ dans la formule de Fresnel est restée la même ou a changé de sens suivant que l'on a $i + r \lesseqgtr \frac{\pi}{2}$; il en est de même pour les vibrations $a$ et $a_1$ dans les formules de Mac Cullagh et de Neumann.

Les résultats apparents sont donc identiques dans les deux théories et il ne semble pas qu'il soit possible d'établir entre elles aucune différence accessible à l'expérience.

---

## *Flotteurs pour indiquer la densité des couches des liquides hétérogènes;* par M. Paul Robin.

Il y a quelques années, dans le but de montrer la lenteur des

(¹) Cornu, *Annales de Chimie et de Physique*, [4], t. XI, p. 303; 1867.

phénomènes de diffusion dans les liquides et peut-être d'en mesurer quelques-uns, j'ai entrepris une modeste expérience dont j'ai pensé que quelques détails pourraient intéresser la Société. Dans l'ensemble, mon appareil, qui figurait à la dernière exposition annuelle, est un vase vertical assez long, contenant un liquide hétérogène dans lequel la densité des couches horizontales est donnée par des flotteurs de densités bien mesurées d'avance. Le mouvement de ces flotteurs indique celui de la diffusion.

Je dois dire d'abord que j'ai renoncé à suivre sérieusement ces expériences, pour deux raisons. D'abord, je ne dispose pas de chambre à température constante, condition qui n'est peut-être pas indispensable, mais qui est au moins désirable; ensuite et surtout, je crains que le temps ne me manque : j'estime, en effet, qu'il faudrait plusieurs générations pour que l'une d'elles fût terminée. S'il paraissait utile de vérifier par le moyen présenté des résultats obtenus par des expériences de moins longue durée, les appareils ne pourraient être établis pour l'instruction de la postérité que dans les caves profondes de quelqu'un des palais consacrés aux recherches de haute Science.

Je ne parlerai donc que de la construction de mes flotteurs. Ce sont de petites ampoules en verre soufflé dans lesquelles j'ai d'abord introduit et fixé un signe, une lettre gommée qui me permettra de les reconnaître. De chacune j'ai mesuré grossièrement le diamètre, calculé le volume, puis j'y ai introduit des fragments de fil métallique, afin de lui donner *approximativement* la densité désirée, et j'ai fermé à la lampe.

Pour déterminer *exactement* les densités, j'ai pu opérer assez vite en modifiant le procédé de la balance hydrostatique. Au plateau de celle-ci, je suspends un mince fil métallique terminé par un anneau horizontal au-dessus ou au-dessous duquel mes flotteurs peuvent être maintenus dans l'eau. Le vase contenant l'eau sous le plateau de la balance est entouré de glace fondante. Je n'emploie pas la double pesée inutile, mes deux poids étant multipliés par le même coefficient, ce qui ne changera pas leur rapport. Chaque flotteur est directement pesé hors de l'eau et dans l'eau. Le petit fil métallique ne cause aucune erreur pratique ou théorique, puisqu'en tout cas il entre dans l'eau de la même quan-

tité, mais encore il raccourcit l'opération en diminuant l'amplitude et la durée des oscillations de la balance.

J'espère que ces petits flotteurs, que l'on peut construire excellents, très vite et sans aucune difficulté, pourront être utilisés comme indicateurs dans diverses expériences.

---

# OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1887.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CIV et CV, 1887, in-4°.

Annales de Chimie et de Physique, 6e série, t. X, XI et XII, 1887, in-8°.

Annales scientifiques de l'École Normale supérieure, 3e série, t. IV, année 1887, in-4°.

Annales télégraphiques, 3e série, t. XIV, janvier à août 1887, in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris, 7e série, t. XI, 1886-1887, in-8°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils, année 1887.

Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 4e série, 40e année, janvier à décembre 1887.

L'Électricien, t. XI, année 1887, 1 vol. in-8°.

Bulletin international des téléphones, année 1887, in-4°.

La Chronique industrielle; par M. *Casalonga*, année 1887, in-4°.

La Revue industrielle, année 1887, in-4°.

Moniteur industriel, vol. XIV, année 1887, in-4°.

Revue internationale de l'Électricité et de ses applications, t. IV, 3e année, 1887, in-4°.

Bulletin de la Société française de minéralogie, t. X, année 1887, in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. VII, nos 1 à 8, 1886, in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires, publié par M. *A. Buguet*, 1re année, 1887, in-8°.

The Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society. Vol. V. Part 1 à 6 (1886-1887), in-8°.

Bulletin de la Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale, t. II, 4ᵉ série, 1887, in-4°.

Société nationale d'encouragement. Procès-verbaux des séances, année 1887.

Memorias de la Sociedad Cientifica « Antonio Alzate », t. I, nᵒˢ 2 à 5, 1887, in-8°.

Anuario de la Oficina central meteorolojica de Chile, t. XVIII, août à octobre 1886, in-8°.

Proceedings of the Royal Society, vol. XLII, nᵒˢ 256 à 257, et XLIII, nᵒˢ 258 à 263.

Philosophical Magazine, fifth series, vol. XXIII and XXIV, 1887.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band XXXI, XXXII, XXXIII, 1887.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie, Band XI, 1887.

Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles, 3ᵉ série, vol. XXII, et vol. XXIII, n° 96, in-8°.

Journal de la Société physico-chimique de Saint-Pétersbourg, t. XIX, 1887, nᵒˢ 1 à 7.

Journal of the Society of Telegraph Engineers and of Electricians, vol. XVI, année 1887.

Elektrotechnische Zeitschrift; herausgegeben vom elektrotechnischen Verein. Heft IX, 1887.

The American Journal of Science, 3ᵉ série, vol. XXXII et XXXIV, 1887.

The Physical Society of London (Proceedings), vol. VIII et vol. IX, Part I, in-8°.

Annales de l'École polytechnique de Delft, t. III, 1887.

Die Fortschritte der Physik im Jahre 1881, XXXVII Jahrgang et XXXVIII, 1882.

Pontificia Universita Gregoriana. — Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano, vol. XXVI, nᵒˢ 1 à 7, 1887.

Moniteur officiel du grand concours international des Sciences et de l'Industrie (Bruxelles, in-4°); nᵒˢ 1 à 23, 1887.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens, 1884 à 1887, in-4°.

The scientific Proceedings of the royal Dublin Society, vol. V, 1886, Part 3 et 4, vol. VI, 1887, Part 5 et 6.

Cronica cientifica, revista internacional de Ciencias, t. X, 1887: nᵒˢ 218 à 242.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens; t. IV, janvier à novembre 1887.

Institutui meteorologic Romanei : Buletinul ministeruli agriculturei, industriei comerciului Saint Domeniilor, anul I, 1885; n$^{os}$ 8 à 12.

The Electrician; vol. XIX, 1887, et vol. XX, n$^{os}$ 495 à 501.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie; par M. *Stefan C. Hepitès*, 1885, t. I.

Traité d'Électricité et de Magnétisme de James Clerk Maxwell, traduit par M. *G. Seligmann-Lui*, avec notes et éclaircissements par MM. *Cornu*, *Potier* et *Sarrau*, t. I, 3$^{e}$ fascicule.

Recherches expérimentales sur la dureté des corps et spécialement sur celle des métaux et des alliages; par M. *F. Hugueny* (Thèse, 1864), br. in-4°.

Recherches expérimentales sur la dureté des corps et spécialement sur celles des métaux; par M. *F. Hugueny*, br. in-8°.

Le coup de foudre de l'île du Rhin, près Strasbourg (13 juillet 1869); par M. *F. Hugueny*, br. in-4°.

Sur la condition de stabilité du mouvement d'un système oscillant soumis à une liaison synchronique pendulaire; par M. *A. Cornu* (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1887).

Nouveau Dictionnaire de Chimie, illustré de figures intercalées dans le texte, comprenant les applications aux Sciences, aux Arts, à l'Agriculture et à l'Industrie; par M. *Émile Bouant* (1$^{er}$ fascicule, A chaleur), in-8°.

Traité et Aide-Mémoire des déviations du compas; par M. *A. Madamet*, 1 vol. in-8°.

Résistance des matériaux; par M. *A. Madamet*, br. in-8°.

Note sur un appareil destiné à enregistrer à bord d'un navire la loi d'un mouvement quelconque; par M. *A. Madamet*, br. in-8°.

Rapport fait, au nom du Comité des Arts mécaniques de la Société d'Encouragement, sur la transmission funiculaire de M. Raffard; par M. *Ed. Collignon*, br. in-4°.

Rapport, fait au nom du Comité des Arts mécaniques de la Société d'Encouragement, sur le manchon élastique d'accouplement des arbres de transmission inventé par M. Raffard; par M. *Pihet*, br. in-4°.

Une nouvelle Force; par M. *J. Thore*, br. in-8°.

Des constantes d'élasticité dans les milieux anisitropes; par M. *B. Élie*, br. in-8° (Extrait du *Journal de Physique*, année 1886).

Sur l'instabilité de l'équilibre de la couche superficielle d'un liquide (I<sup>re</sup> et II<sup>e</sup> Partie); par M. *G. van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Études sur la balance; par M. le D<sup>r</sup> *M. Thiesen*, br. in-4°.

Versuche über den Luftwiderstand; von D<sup>r</sup> *M. Thiesen*, br. in-8°.

Les machines du service pneumatique au nouvel Hôtel des Postes, à Paris; par M. *Wunschendorff* (Extrait des *Annales Télégraphiques*), br. in-8°.

Relations des opérations effectuées en 1880-1881 pour la réparation du câble Marseille-Alger de 1871; par M. *Wunschendorff* (Extrait des *Annales télégraphiques*), br. in-8°.

Sur quelques effets curieux des forces moléculaires au contact d'un solide et d'un liquide; par M. *G. van der Mensbrugghe*, br. in-8°.

Quelques expériences sur la propagation du courant électrique dans l'air; par M. le D<sup>r</sup> *J. Bergmann*, br. in-8°.

Les téléphones usuels; par M. *Ch. Mourlon*, 1 vol. in-8°.

Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques; par M. *Adrien Palaz* (Thèse), br. in-4°.

Zur Frage nach dem Ursprunge der Wolkenelektricität; von *Julius Elster* und *Hans Geitel*, br. in-8°.

Étude de la distribution du potentiel dans des conducteurs homogènes de formes déterminées traversées par un courant électrique dont le régime est permanent; par M. *A. Chervet*, br. in-8°.

Quelques mots sur la transparence du platine et des miroirs de fer, nickel, cobalt, obtenus par électrolyse; par M. *Ed. van Aubel*.

Action d'un aimant sur l'écoulement du mercure; par M. *Henri Dufour*, br. in-8°.

Note sur quelques effets de la foudre; par M. *Henri Dufour*, br. in-8°.

Sur la réflexion de l'arc-en-ciel à la surface de l'eau tranquille; par M. *Henri Dufour*, br. in-8°.

Sur les dégâts causés par un coup de foudre d'une intensité exceptionnelle; par M. *D. Colladon*, br. in-4°.

Sur les tourbillons ascendants dans l'air et dans les liquides. — Réponse aux observations de M. Faye; par M. *D. Colladon*, br. in-4°.

Sur les origines du flux électrique des nuages orageux; par M. *D. Colladon*, br. in-4°.

Ueber das Schallleitungsvermögen der Körper; von *N. Heschus*, br. in-8°.

Notes sur la construction des paratonnerres; par MM. *Buchin, Tricoche* et Cie, br. in-8°.

Sur l'emploi de l'électricité pour la transmission du travail à distance; par M. *J. Boulanger*, br. in-8°.

La sténo-télégraphie, système nouveau de télégraphie breveté par M. *G.-A. Cassagnes*; par M. *L.-H. Despeissis*, br. in-4°.

La sténo-télégraphie; par M. *G.-A. Cassagnes*, br. in-4°.

L'électricité considérée comme un transmetteur d'énergie (conférences faites, les 24 avril, 8 et 22 mai 1887, à la Société industrielle du Nord); par M. *Aimé Witz*, br. in-8°.

Accumulateurs électriques; par M. *Aimé Witz*, br. in-4°. (Extrait du *Bulletin de la Société industrielle du Nord.*)

La traction électrique au moyen des accumulateurs; par M. *Bandsept*, br. in-8°.

Azione della luce sulla conductibilita calorifica del selenio cristallino. — Ricerche sperimentali; per *Bellati* et *S. Lussana*, br. in-8°.

Die Entwickelung der Lichtemission glühender fester Körper, von *H.-F. Weber*, br. in-8°.

L'Hématoscopie, méthode nouvelle d'analyse du sang basée sur l'emploi du spectroscope; par M. le Dr *A. Hénocque*, br. in-4°.

Notice sur l'hématoscope d'Hénocque; indications techniques de ses applications, br. in-8°.

Spectre du pôle négatif de l'azote. Loi générale de répartition des raies dans les spectres de bandes; par M. *H. Deslandres*, br. in-4°. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*)

Photographische Fixirung der durch Projectile in der Luft eingeleiteten Vorgänge, von *Mach* et *Salcher*, br. in-8°.

Sur la forme cristalline des pyrophosphates et hypophosphates de soude; par M. *H. Dufet*, br. in-8°. (Extrait du *Bulletin de la Société minéralogique de France.*)

Étude cristallographique et optique des phosphates, arséniates et hypophosphates de soude; par M. *H. Dufet*, br. in-8°. (Extrait du *Bulletin de la Société minéralogique de France.*)

Sur l'orthophosphate et l'arséniate monosodiques; par MM. *A. Joly* et *Dufet*, br. in-8°. (Extrait du *Bulletin de la Société minéralogique de France.*)

Les groupements cristallins; par M. *E. Mallard*, br. in-8°.

Recherches calorimétriques sur les chaleurs spécifiques et les changements d'état aux températures élevées; par M. *Pionchon* (Thèse), br. in-4°.

Cours de Thermodynamique, professé pendant le premier semestre 1885-1886 à la Faculté des Sciences de Paris; par M. *G. Lippmann*, br. in-4°.

Ueber Barometervergleichungen neue Form des Queck-Silbernormalthermometers; von *J. Pernet*, br. in-8°.

Bemerkungen über barometrische Untersuchungen, von *J. Pernet*, br. in-8°.

Sur la vitesse de réaction du zinc plombé avec quelques acides, dans divers états de concentration et de température; par MM. *W. Sping* et *E. van Aubel*, br. in-8°.

Zur Frage der Beleuchtung mittels Naphtagases; von *P. Lamansky*, br. in-8°.

Rapport sur les Travaux de la Société belge d'Électriciens, pendant l'exercice 1886-1887; par M. *Ch. Mourlon*, br. in-4°.

Das Klima von Fiume. — Abbazia nach meteorologischen Beobachtungen, von *P. Salcher*, br. in-8°.

Eine Aenderung am Weber'schen Magnetometer, von *P. Salcher*, br. in-8°.

The development of the mercurial air-pump; by M. *S.-P. Thompson*, in-4°.

Notes sur l'histoire de la Photographie astronomique; par M. *G. Rayet*. br. in-8°.

Ueber Vergleichungen von Normalmeterstäben, von *J. Pernet*, br. in-8°.

Bericht über Arbeiten des Hern. Benoît; von *J. Pernet*, br. in-8°.

Ueber die Arago'sche Method zur Bestimmung der Spannung der Luft im sog. Vacuum der Barometer, und den Einfluss der Capillarität auf die Messung absoluter Drucke und Temperaturen von *S. Pernet*, br. in-8°.

Statistique générale des personnes qui ont été traitées à l'Institut Pasteur après avoir été mordues par des animaux enragés ou suspects; par M. *Vulpian*, br. in-4°.

Société d'Encouragement pour l'industrie nationale : Annuaire pour l'année 1887.

Commission géologique et d'Histoire naturelle du Canada; Rapport annuel (nouvelle série), t. I, 1885, in-8°.

Commission géologique et d'Histoire naturelle du Canada : Mappes, etc., accompagnant le Rapport annuel pour 1885, in-8°.

Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts : Comité des travaux historiques et scientifiques. — Bibliographie des Sociétés savantes de la France; par M. *Eugène Lefèvre-Pontalis*, br. in-8°.

Les collisions en mer. — Moyen de les éviter, 1868-1870-1877; par M. *Léon Somzée*, br. in-8°.

Ueber die Electricitätsentwickelung bei der Tröpfchenreibung; von *Julius Elster* und *Hans Geitel*, br. in-8°.

Versuche über die Nachbilder von Reizveränderungen; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber Analoga der persönlichen Differenz zwischen beiden Augen und den Netzhautstellen desselben Auges; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die Entstehungsweise der Kundt'schen Staubfiguren; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die Schallgeschwindigkeit des Wassers in Röhren; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die Schwingungen des Wassers in Röhren; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber einige neue Staubfiguren; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber eine neue Art von Variationstönen; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die Leitung des Schalles in Gasen; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die akustische Abstossung; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber eine neue einfache Art der Schlierenbeobachtung; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber eine Anwendung des Gesetzes der gegenseitigen Einwirkung benachbarter Netzhautstellen; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber einige Versuche mit statischer Electricität; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Bemerkungen zu der Mittheilung von F. Neesen « akustische Beobachtungen »; von *Dvorak*, br. in-8°.

On the cause of iridescence in clouds; by *G. Johnstone Stoney* (The Scientific Transactions of the royal Dublin Society), br. in-4°.

On New-Zealand Coleoptera, with descriptions of new genera and species; by *David Sharp* (The Scientific Transactions of the royal Dublin Society), br. in-4°.

The fossil Fishes of the Chalk of mount Lebanon, in Syria; by *James-W. Davis* (The Scientific Transactions of the royal Society Dublin), br. in-4°.

---

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

# LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1888.

# SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1888.)

## BUREAU.

MM. De Romilly, *Président.*
Mascart, *Vice-Président.*
Joubert, *Secrétaire général.*
Rivière, *Secrétaire.*
Leduc, *Vice-Secrétaire.*
Maurat, *Archiviste-Trésorier.*

## CONSEIL.

| *Membres résidants :* | | *Membres non résidants :* | |
|---|---|---|---|
| MM. Baille. | 1886. | MM. Brillouin (Toulouse). | 1886. |
| Girardet. | | De Chardonnet (Besançon). | |
| Friedel. | | Lermantoff (Saint-Pétersbourg). | |
| Pellat. | | Rousseau (Bruxelles). | |
| Carpentier. | 1887. | Bienaymé (Toulon). | 1887. |
| Foussereau. | | Colnet d'Huart (Luxembourg). | |
| Lemonnier. | | Hagenbach (Bâle). | |
| Ploix. | | Rayet (Bordeaux). | |
| Becquerel (Henri). | 1888. | Baillaud (Toulouse). | 1888. |
| Berger. | | Bellati (Padoue). | |
| Bertrand (J.). | | Élie (Abbeville). | |
| Le Chatelier (H.). | | Stoletow (Moscou). | |

# ANCIENS PRÉSIDENTS.

| | | |
|---|---|---|
| 1873. | MM. | FIZEAU. |
| 1874. | | BERTIN. |
| 1875. | | JAMIN. |
| 1876. | | QUET. |
| 1877. | | BECQUEREL (Ed.). |
| 1878. | | BLAVIER. |
| 1879. | | BERTHELOT. |
| 1880. | | MASCART. |
| 1881. | | CORNU. |
| 1882. | | GERNEZ. |
| 1883. | | JANSSEN. |
| 1884. | | POTIER. |
| 1885. | | MAREY. |
| 1886. | | SEBERT. |
| 1887. | | WOLF. |

# MEMBRES HONORAIRES (¹).

MM. **BROCH (O.-J.)**, Professeur à l'Université de Christiania.
**FIZEAU (A.-H.-L.)**, Membre de l'Institut.
**JOULE (J.-P.)**, de Manchester.
**STOKES (G.-G.)**, Professeur à l'Université de Cambridge.
**Sir WILLIAM THOMSON**, F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow.
**BECQUEREL (Ed.)**, Membre de l'Institut.
**EDLUND**, Professeur de Physique à l'Académie Royale des Sciences de Stockholm.
**BELL (Alex. Graham)**, de Washington.
**BERTHELOT (M.)**, Sénateur, Membre de l'Institut.

# MEMBRES A VIE (²).

PUYFONTAINE (COMTE DE), 34, avenue Friedland.
* D'ALMEIDA, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 7, Portland place, Londres, W.

---

(¹) *Membres honoraires décédés :*

| | | |
|---|---|---|
| MM. | A. BECQUEREL. | 1874-78. |
| | BILLET. | 1876-82. |
| | V. REGNAULT. | 1876-78. |
| | SECCHI. | 1876-78. |
| | JAMIN. | 1882-86. |

EXTRAIT DES STATUTS, Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(²) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (STATUTS, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. **Berthelot**, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

**Mascart**, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université.

* **Pérot**, Dessinateur et Graveur.

* **Niaudet**, Ingénieur civil.

**Salet**, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boul. Saint-Germain.

* **Spottiswoode** (W.), Président de la Société royale de Londres.

* **Jamin**, Membre de l'Institut.

**Gernez**, Maître de conférences à l'École Normale Supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

**Maurat**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.

* **Duboscq** (**Jules**), Constructeur d'instruments de Physique.

**Tuleu**, Ingénieur, 17, rue Visconti.

**Fontaine** (Hippolyte), Ingénieur électricien, 15, rue Drouot.

**Duclos**, ancien Directeur d'École Normale à Cérisols, par Sainte-Croix de Volvestre (Ariège).

* **Blavier**, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

**Hugo** (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.

**Bischoffsheim** (Raphaël-Louis), député, 3, rue Taitbout.

**Poussin** (Alexandre), Ingénieur, au château de La Houblonnière, par Lisieux.

**Ollivier** (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

**Fernet**, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

**Bardy**, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

**Angot**, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

**Alvergniat**, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.

* **Brion**, Professeur de physique.

**Muirhead** (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.

**Caspari**, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.

**Blondlot**, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

**Guébhard**, Professeur agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 6, rue Legoff.

**Raffard** (N.-J.), Ingénieur, 16, rue Vivienne.

**Gauthier-Villars**, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.

**Bordet** (**Lucien**), Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.

MM. LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

* SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Membre de l'Institut.

D'ABBADIE, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.

VILLIERS (Antoine), agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

JAVAL, Député, Directeur du laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

LEMONNIER, ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

* TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

GROSSETESTE (William), Ingénieur, 11, rue des Tanneurs, Mulhouse.

POTIER, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

* MEYER (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

GRAY (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres.

RODDE (Ferd.), 3, cité Magenta.

FRIEDEL, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RODDE (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).

* THOLLON, Physicien, à l'Observatoire de Nice.

GARIEL (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

BARON, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.

BUCHIN, 11, rue Roland, à Bordeaux.

RIVIÈRE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

* MONCEL (comte DU), Membre de l'Institut.

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

CABANELLAS, Ingénieur électricien, 30 *bis*, faubourg de la Barre, à Dieppe.

* BRÉGUET (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.

PELLAT, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard du Montparnasse.

* RAYNAUD, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie, Répétiteur à l'École Polytechnique.

LEBLANC, ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin Anglais, au Raincy.

POINCARÉ, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

MM. **Pérard** (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* **Van den Kerchove**, Sénateur, Gand (Belgique).

**Baille**, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

**Carpentier**, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

**Romilly** (de), 8, rue de Madrid.

**Roger**, ancien Chef d'institution, 161, rue Saint-Jacques.

**Brillouin**, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 11 *bis*, rue de la Planche.

**Abria**, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

**Dollfus** (Eugène), Chimiste fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse.

**Ogier** (Jules), Docteur ès Sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

**Gotendorf** (Silvanus), 39, rue de Clichy.

**Duclaux**, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

**Kœchlin** (Horace), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

**Brewer** (fils), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

**Le Cordier** (Paul), Docteur ès Sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

**Vaschy**, Sous-Ingénieur des télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

**Palmade**, Professeur au lycée de Saint-Etienne.

**Godefroy** (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution catholique, 175, rue de Vaugirard.

**Gouloubitzky**, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

**Lemoine** (E.), Ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

**Foussereau**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

**Rigout**, Préparateur de Chimie à l'École Nationale des Mines.

**Seligmann-Lui**, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

**Cornu**, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

**Gerboz** (P.-C.), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

**Bandsept**, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

**Brisse** (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie (Seine).

**Vautier** (Théodore), Chargé des Conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

**Jénot**, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

MM. **Godard** (Léon), Docteur ès sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

**Wallon** (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

**Pupin**, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

**Weiss**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 73, boulevard Saint-Michel.

**Lemström** (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

**Bouty**, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

**Sebert**, Colonel d'Artillerie de Marine, Laboratoire Central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

**Masson** (G.), Libraire-Editeur, 120, boulevard Saint-Germain.

**Mallard**, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 11, rue de Médicis.

**Boitel**, Professeur au Lycée Lakanal, 3, rue Soufflot.

**Dybowski**, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg, (Bel-Air).

**Leduc**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

**Raymond**, Ingénieur des Constructions navales à Toulon.

**Sainte-Claire Deville** (Emile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villers.

**Touanne** (de la), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.

**Violle**, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

**Nerville** (de), Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

**Meslin**, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, Place d'Armes.

**Lyon** (Gustave), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

* **Jennesson**, Ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

**Vandenbroucque**, Professeur à l'Institution libre à Marcq-en-Barœul, (Nord).

**Mathias** (Émile), Agrégé-préparateur à la Faculté des Sciences, 75, rue Saint-Honoré.

**Laurent** (Léon), Constructeur d'instruments de physique, 21, rue de l'Odéon.

**Pavlidès** (Démosthènes), 19, avenue du Trocadéro.

**Defforges** (G.), Capitaine au 16e régiment de ligne, détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 123, rue de Grenelle.

**Cadot**, Licencié ès Sciences, 3, rue Berthollet.

**Joly**, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 72, rue Claude-Bernard.

**Leroy**, Professeur au Lycée de Vanves, 4, rue de la Grande-Chaumière.

**Schwedoff**, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

**Tripier** (le Dr), 41, rue Cambon.

**Le Chatelier** (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.



# LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

**ABBADIE (d')**, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

**ABDANK-ABAKANOWICZ**, Ingénieur, 25, rue de la Montagne Sainte-Geneviève.

**ABOILARD (Louis)**, Constructeur de lampes à incandescence, 76, avenue de Villiers.

**ABRIA**, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, quai Bacalan, à Bordeaux.

**ALBERT (Fernand)**, Licencié ès sciences, 34, rue d'Ulm.

**ALEXANDRE (Henri)**, Ingén. des Arts et Manufactures, 184, rue de Belleville.

**ALEXÉEFF**, Vice-Président de la Section d'Électricité de la Société impériale polytechnique de Russie, à Saint-Pétersbourg (Russie).

**ALLUARD**, Correspondant de l'Institut, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

**ALVERGNIAT**, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

**AMAGAT**, Professeur à la Faculté Catholique des Sciences, 25, rue du Plat, à Lyon.

**ANDRÉ (Ch.)**, Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

**ANGOT**, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

**ANTHONISSEN (Joseph)**, 21, rue Hauteville.

**ARCHAMBAULT (J.)**, Professeur en retraite, 9, boulevard du Temple.

**ARMAGNAT**, Ingénieur, 20, rue Delambre.

**ARNOUX (René)**, Ingénieur civil, 30, boulevard Victor Hugo, à Neuilly-sur-Seine.

**ARNOYE**, Professeur au Lycée de Montauban.

**ARRAGON**, Professeur au Lycée de la Guadeloupe.

**ARSONVAL (d')**, Directeur du Laboratoire de Physique biologique au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

**ARTHAUD**, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 8 *bis*, rue Claude-Bernard.

**AUBERT**, Professeur au Lycée Condorcet, 22, rue Truffaut.

**AUBRY**, Directeur-Ingénieur des télégraphes, en retraite, 8, rue de Lorraine, à Nancy.

**AUGUEZ (Émile)**, Sous-Directeur des contributions indirectes, 16, rue de Mouy, à Clermont (Oise).

**AYLMER (John)**, Ingénieur, 4, rue de Naples.

**AYMONNET**, Professeur de Physique, 38, boulevard d'Italie.

**BABLON**, 42, rue Boulard.

MM.

**BAGNERIS (Eugène)**, Professeur agrégé de Phys'que de la Faculté de Médecine, 25, rue Baron Louis, à Nancy.

**BAILLAUD**, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

**BAILLE**, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

**BAILLY**, Professeur au Lycée de Carcassonne.

**BANDSEPT**, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

**BANET-RIVET**, Professeur au Lycée de Marseille.

**BARBIER (Paul)**, Ingénieur, rue du Sentier, à Meudon.

**BARDY**, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

**BARON**, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

**BARRAUD (Ph.)**, Docteur en Médecine, 50, rue Saint-Placide.

**BASSOT**, Commandant du Génie, Chef de la Section de Géodésie au Dépôt de la Guerre, 15, rue Tronchet.

**BATCHELOR (Charles)**, Administrateur de la Compagnie Edison.

**BAUDOT**, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 53, rue de Rennes.

**BEAU (Henri)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, 226, rue Saint-Denis.

**BEAULARD**, Professeur au Lycée, 12, avenue Victor Hugo, à Aix.

**BÉCORDEL (H. de)**, Receveur principal à Saint-Amand (Cher).

**BECQUEREL (Ed.)**, Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

**BECQUEREL (Henri)**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique, 57, rue Cuvier.

**BÉDOREZ**, Directeur des Études à l'École Monge, 145, boulevard Malesherbes.

**BEDOS (Ph.)**, Professeur au Lycée, 31, rue de la République, à Carcassonne.

**BEGHIN (Auguste)**, Professeur à l'École nationale des Arts industriels, 18, rue Latine, à Roubaix.

**BELL (Alexander Graham)**, 95, Scott Circle, Washington D. C.

**BELLATI (Manfredo)**, Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

**BELLOT (Jules)**, 28, rue Saint-Lazare.

**BENAVENTE Y MONTALVO (Antonio)**, Ancien professeur de Physique au Collège de Rioseco, Directeur du Collège de Villada, Province de Palentia (Espagne).

**BENAVIDES (Francisco da Fonseca)**, Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

**BENOIT (René)**, Docteur ès sciences, adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

**BERGER (Georges)**, Directeur général de l'exploitation de l'Exposition universelle de 1889, 8, rue Legendre.

**BERGERON**, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

**BERGET (Alphonse)**, Licencié ès sciences mathématiques et physiques, 14, avenue des Gobelins.

**BERGON**, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

**BERGONIÉ (Dr)**, Agrégé, Maître de Conférences de Physique, à la Faculté de Médecine, 27, rue Gouvion, à Bordeaux.

MM.

**BERNARD** (**Alfred**), Professeur au Lycée de Périgueux.

**BERSON**, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

**BERTHELOT**, Sénateur, Membre de l'Institut, Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, 3, rue Mazarine.

**BERTRAND** (**J.**), Membre de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

**BERTRAND** (**A.-L.**), Capitaine du Génie attaché à la Section technique du Génie au Ministère de la Guerre, 8, rue Saint-Dominique.

**BESANÇON** (**M.-J.**), Répétiteur à l'École Turgot, 152, boulevard Voltaire.

**BESOMBES** (**Noël**), Ingénieur des télégraphes, 2, place Saint-Michel, à Marseille.

**BESSON** (**Léon**), Ancien Officier de Marine, 4, rue des Martyrs.

**BEZODIS**, Professeur au Lycée Henri IV, 61, rue Claude-Bernard.

**BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS**, à Caen.

**BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.**

**BICHAT**, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, 1 *bis*, rue des Jardiniers.

**BIENAYMÉ**, Ingénieur en chef de la marine, à Toulon.

**BISCHOFFSHEIM** (**Raphaël-Louis**), Député, 3, rue Taitbout.

**BLONAY** (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

**BLONDIN**, Licencié es sciences, 85, boulevard de Port-Royal.

**BLONDLOT** (**R.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

**BOBILEFF**, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**BOITEL**, Professeur au Lycée Lakanal, 3, rue Soufflot.

**BONAVITA**, Professeur au Lycée de Bastia.

**BONIOL**, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe.

**BONTEMS** (**Emile**), Lieutenant-Trésorier au 12e chasseurs, à Grenoble.

**BONVALOT**, Ingénieur, 1, place Saint-Jean, à Dijon.

**BORDET** (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Inspecteur des Finances, 181, boulevard Saint-Germain.

**BOREL**, Docteur en Médecine, à Puy-Saint-Martin (Drôme).

**BORGMANN**, Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**BOUANT**, Professeur au Lycée Charlemagne, 20, rue Monsieur-le-Prince.

**BOUCHARD**, Sous-Ingénieur des Télégraphes, 19, quai d'Orléans, à Rennes.

**BOUCHER**, Préfet des Études au Collège Chaptal, 45, boulevard des Batignolles.

**BOUDET DE PÂRIS** (le Dr **M.**), ancien Interne des hôpitaux, 4, rue de l'Isly.

**BOUDRÉAUX**, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 5, rue Descartes.

**BOULANGER**, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

**BOULARD**, Ingénieur, 13, rue Vavin.

**BOURBOUZE**, Chef des travaux de Physique à l'École supérieure de Pharmacie, 340, rue Saint-Jacques.

**BOURGEOIS**, Répétiteur à l'École Polytechnique, 23, quai de la Tournelle.

**BOURRUT-DUVIVIER**, Professeur à l'École Navale, 89, rue de Siam, à Brest.

MM.

**BOUSQUET**, Directeur de l'École normale d'Agen.

**BOUTAN**, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

**BOUTET DE MONVEL**, Professeur en retraite, 5, rue des Pyramides.

**BOUTY**, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

**BOVY**, Ingénieur-Électricien à Bellegarde.

**BRACHET**, Ingénieur, 2, rue d'Égypte, à Lyon.

**BRANLY**, Professeur à l'Ecole libre des hautes études scientifiques et littéraires, 42, avenue de Breteuil.

**BRANVILLE (de)**, Ingénieur civil, constructeur d'appareils électriques, 25, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève.

**BREWER (William J.)**, Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

**BRIEU (Georges)**, Professeur à l'École Normale, 12, rue des Forgerons, à Périgueux.

**BRILLOUIN (Marcel)**, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 11 *bis*, rue de la Planche.

**BRISAC**, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne du gaz, 7, Cité Malesherbes.

**BRISSE**, Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie.

**BROCH (O.-J.)**, Professeur à l'Université de Christiania (Norwège), au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

**BROWNE (H.-V.)**, Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

**BRUNHES (Émile)**, Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

**BRÜNNER**, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

**BUCHIN**, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

**BUGUET**, Professeur au Lycée de Moulins.

**BUISSON (Maxime)**, Chimiste, rue Saint-Thomas, à Évreux.

**CABANELLAS (G.)**, Ingénieur électricien, 30 *bis*, faubourg de la Barre, à Dieppe.

**CADIAT**, Ingénieur, 83, rue des Saints-Pères.

**CADOT**, Candidat à l'Agrégation, 3, rue Berthollet.

**CAEL**, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 31, rue Saint-Guillaume.

**CAILLETET**, Membre de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine, et 75, boulevard Saint-Michel.

**CAILLOL DE PONCY**, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

**CALMETTES**, Professeur au prytanée militaire de la Flèche.

**CANCE**, Ingénieur électricien, 9, rue de Rocroy.

**CARAGUEL**, Avocat, Directeur du Crédit foncier de France, à Albi, 4, rue Nego-Danos.

**CARPENTIER**, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

**CARVALLO**, Professeur au Lycée de Versailles.

MM.

**CASALONGA**, Ingénieur civil, 15, rue des Halles.

**CASPARI**, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.

**CAVAILLÉ-COLL**, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

**CAVIALE**, Professeur de Physique à l'École Normale de Versailles, boulevard de Lesseps, à Versailles.

**CAZES**, Maître répétiteur au Lycée Saint-Louis.

**CHABERT** (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.

**CHABRERIE**, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

**CHABRY** (Dr L.), Docteur ès Sciences, Directeur adjoint du laboratoire de Zoologie de Concarneau, 2, rue Mirbel.

**CHAMAND** (**Joseph**), capitaine adjudant-major au 32e rég. d'infanterie, 78, rue Colbert, à Tours.

**CHAMANTOFF** (**Nicolas**), Préparateur au cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**CHAMBERT** (**Paul**), rue de la Manufacture, à Châteauroux.

**CHAPERON** (**Georges**), Ingénieur civil des Mines, Inspecteur divisionnaire du travail dans l'Industrie, 23, rue de la Fère, à Saint-Quentin.

**CHAPPUIS**, Professeur à l'École centrale, 7, rue Laplanche.

**CHAPPUIS** (**Pierre**), attaché au Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

**CHAPUY** (**Paul**), Ingénieur des Mines, à Grenoble.

**CHARDONNET** (**le comte de**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon.

**CHASSAGNY**, Agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

**CHAUSSEGROS**, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.

**CHAUTARD**, Doyen de la Faculté libre des Sciences de Lille.

**CHAUVEAU**, Professeur de Physique, 20, rue de la Sorbonne.

**CHAUVIN**, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.

**CHAVES** (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

**CHERVET**, Professeur au Lycée Henri IV, 18, rue Nicole.

**CHRÉTIEN**, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).

**CIVIALE** (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

**CLAVEAU**, Professeur au Lycée de Vesoul.

**CLAVERIE**, Censeur du Lycée Lakanal, à Sceaux.

**COLARDEAU**, Professeur au Lycée de Lille.

**COLARDEAU** (**Emmanuel**), Professeur au Lycée Saint-Louis.

**COLLEY** (**Robert**), Professeur de Physique à l'Académie agronomique de Petrowskoyé, près Moscou (Russie).

**COLNET D'HUART** (**de**), Membre de l'Académie Royale de Belgique, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

**COLNET D'HUART** (**François de**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Athénée de Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

MM.

**COLSON** (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

**COMBES** (**A.**), Docteur ès sciences, Ancien élève de l'École Polytechnique, 6, rue du Val-de-Grâce.

**COMBETTE**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue Claude-Bernard.

**CORNU**, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

**CORVISY**, Professeur au Lycée, 2, rue du Poirier, à Saint-Omer.

**COULIER**, Membre du Comité de Santé des armées, 26, rue Gay-Lussac.

**COUPIER**, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

**COURQUIN** (**l'abbé**), Professeur à l'Institution libre du Sacré-Cœur à Tourcoing.

**COURTOY**, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles.

**COUSTÉ**, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 9, boulevard de l'Odet, à Quimper, et 5, Place Saint-François-Xavier.

**CROIX** (**Victor**), Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

**CROS** (**Ch.**), 9, rue Christine.

**CROVA**, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, Montpellier.

**CUÉNOD**, Ingénieur électricien, 10, boulevard Voltaire, à Genève.

**CULMANN**, Docteur ès sciences, attaché à la maison Bréguet, 39, quai de l'Horloge.

**CURIE** (**Pierre**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 5, avenue de Sceaux, à Fontenay-aux-Roses.

**CUSCO** (le D[r]), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 97, rue des Petits-Champs.

**DAGUENET**, Professeur au Lycée, 8, rue Montbauron, à Versailles.

**DALMAU**, Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).

**DALY**, Docteur en médecine, à Angoulême.

**DAMBIER**, Professeur au Collège Stanislas, 151, rue de Rennes.

**DAMIEN**, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille, 49, rue Brûle-Maison.

**DANIEL**, ancien Professeur à l'École Centrale, à Saint-Mâlo-de-Lalande (Manche).

**DAVID** (**André**), rue Buisson, à Saint-Étienne.

**DEBRAY**, Membre de l'Institut, 16, rue Vauquelin.

**DEDET**, Professeur au Lycée d'Albi.

**DEFFORGES** (**G.**), Capitaine au 16[e] régiment de ligne, détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 123, rue de Grenelle.

**DELATTRE** (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 20, rue Saint-Georges.

**DELAURIER**, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

**DELEUIL**, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

**DELEVEAU**, Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

**DEMERLIAC**, Professeur au Lycée d'Évreux.

**DEMICHEL**, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

**DEPREZ** (**Marcel**), Membre de l'Institut, 30, rue des Binelles, à Sèvres.

MM.

**DESEILLIGNY** (**l'abbé**), à l'Archevêché de Rouen.

**DESEILLIGNY** (**Jules**), au 28e régiment d'infanterie, caserne Saint-Vivien, à Rouen.

**DESLANDES**, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

**DESLANDRES**, ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue de Rennes.

**DESPLATS**, Professeur Agrégé de la Faculté de Médecine, 17, boulevard de la Madeleine.

**DESPRATS**, Principal du Collège de Villefranche-sur-Saône (Rhône).

**DESROZIERS**, Ingénieur civil des Mines, 16, rue Taitbout.

**DEVAUX**, Professeur au Lycée de Grenoble.

**D'HENRY** (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

**DIDIER** (**P.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 9, rue de l'Abbé-de-l'Épée.

**DIETRICH** (**Ch.**), Dessinateur et graveur, 3, rue Hautefeuille.

**DINI**, Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 49, rue Saint-Placide.

**DOLLFUS** (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

**DOUCEUR**, Directeur des postes et télégraphes, retraité, 42, rue Jouffroy.

**DOULIOT**, Principal du Collège d'Épinal.

**DRINCOURT**, Professeur au Collège Rollin.

**DUBOIS**, Professeur au Lycée, 31, rue Cosette, à Amiens.

**DUBOSCQ** (**Albert**), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

**DUBOSCQ** (**Théodore**), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

**DUCHEMIN**, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg.

**DUCLAUX**, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

**DUCLOS**, Ancien Directeur d'École normale à Cerisols, par Sainte-Croix-de-Volvestre (Ariège).

**DUCOMET**, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.

**DUCRETET**, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

**DUFET**. Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard Montparnasse.

**DUFOUR** (**Henri**), Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de l'Académie, 22, rue Maupas, à Lausanne (Suisse).

**DUHEM**, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 12, rue Mazurel, à Lille.

**DUJARDIN**, 89, boulevard du Montparnasse.

**DUMOULIN-FROMENT**, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

**DUPRÉ**, Inspecteur de l'Académie de Paris, 60, rue des Tournelles.

**DUPUY**, Ingénieur, 17, rue Condorcet, à Lisieux.

**DUSSY**, Professeur au Lycée, 14, rue Berbisey, à Dijon.

**DUTER**, Professeur au Lycée Henri-IV, 16, rue Bertin-Poiré.

**DVORÀK** (**Dr V.**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

**DYBOWSKI**, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg.

MM.

**EBEL**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Cie Edison, 14, rue du Treuil, à Saint-Etienne.

**EDELBERG**, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

**EDLUND**, Professeur de Physique à l'Académie royale des Sciences de Stockholm (Suède).

**EGOROFF** (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

**EICHTHAL** (baron **d'**), 42, rue Neuve-des-Mathurins.

**EIFFEL** (**Gustave**), Ingénieur constructeur de ponts et charpentes métalliques, 60, rue de Prony.

**ÉLIE** (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

**ESTRADA** (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

**ÉTARD** (**Alexandre**), Préparateur de Physique à l'École de Physique et de Chimie, 42, rue Lhomond.

**FARGUES DE TASCHEREAU**, Professeur au Lycée Condorcet, 30, rue des Aubépines, à Bois-Colombes.

**FAURE** (**Camille A.**), Ingénieur, The electrical accumulator C°, Lister avenue. Newark, New Jersey (U. S. A).

**FAVÉ**, Ingénieur hydrographe, 11, passage de la Visitation.

**FAVARGER**, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

**FAYE**, Membre de l'Institut, 95, avenue des Champs-Élysées.

**FERNET**, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

**FERRAY** (**Édouard**), Pharmacien, rue du Grand-Carrefour, à Evreux.

**FERRO CARDOSO** (**Daniel Pedro**), Ingénieur, 123, boulevard Saint-Germain.

**FINK**, Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris, 42, rue Lhomond.

**FIZEAU**, Membre de l'Institut, 3, rue de l'Estrapade.

**FLAMARY**, Professeur à l'École Normale de Châteauroux.

**FONTAINE** (**Hippolyte**), Ingénieur électricien, 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.

**FONTAINE**, Chimiste, 20, rue Monsieur-le-Prince.

**FOURNIER** (le Dr **Alban**), à Rambervillers (Vosges).

**FOURTEAU**, Proviseur du Lycée de Saint-Etienne.

**FOUSSEREAU**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

**FRICKER** (le **Dr**), 39, rue Pigalle.

**FRIDBLATT** (**A.**), Sous-Ingénieur des télégraphes, à Alger.

**FRIEDEL**, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

**FRON**, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 41, rue Madame.

**GAIFFE** (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

**GARBAN**, Inspecteur d'Académie, à Limoges.

**GARBE**, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

MM.

**GARÉ** (l'Abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

**GARIEL** (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

**GARNUCHOT**, Professeur au Collège, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

**GAUBERT**, Horloger-Électricien, à Gruissan (Aude).

**GAUTHIER-VILLARS**, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

**GAVARRET**, Inspecteur général de l'enseignement supérieur, 73, rue de Grenelle.

**GAY**, Professeur au Lycée, 36, rue de la Gare, à Lille.

**GAY**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Mézières.

**GAYON**, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 56, rue de la Benauge, à La Bastide-Bordeaux.

**GENDRON** (**Rudolph**), Préparateur à l'École libre des hautes études scientifiques et littéraires, 12, rue Campagne-Première.

**GÉRARD** (**Anatole**), Ingénieur mécanicien, 39, avenue Marceau, à Courbevoie.

**GÉRARD** (**Éric**), Professeur à l'Institut électrotechnique de Montefiore, à Liège.

**GERBOZ** (**P.-C.**), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

**GERNEZ**, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

**GHESQUIER** (l'Abbé), Professeur au Collège, 76, rue du Collège, à Roubaix.

**GILLET DE GRANDMONT** (**D**r), Secrétaire général de la Société de médecine pratique, 4, rue Halévy.

**GIRARDET**, Professeur au Lycée Saint-Louis, Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, 90, rue Claude-Bernard.

**GIRAUD**, Ingénieur mécanicien, 18, rue de Paris, à Clichy.

**GIRAULT**, Professeur au Collège Chaptal, 8, rue Claude-Pouillet.

**GIROUX**, Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

**GLASEWSKI** (**P.-J.-Alexandre**), Commissionnaire en Instruments de Physique, route de Brie, avenue des Tilleuls, 3 *bis*, à Nogent-sur-Marne.

**GODARD** (**Léon**), Docteur ès Sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

**GODEFROY** (l'Abbé **L.**), Professeur de Chimie, 175, rue de Vaugirard.

**GODFRIN**, Professeur au Lycée de Valenciennes.

**GODRON**, Élève Ingénieur des Ponts et Chaussées.

**GODY** (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

**GOLAZ**, Constr. d'instruments de Physique, 282, rue Saint-Jacques.

**GOLOUBITZKY** (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

**GOMEZ** (**Francisco Lopez**), Professeur à l'Institut de Valladolid (Espagne).

**GOSSART** (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

**GOSSART**, Professeur au Lycée, rue de l'Académie, à Caen.

**GOSSE**, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

**GOSSIN**, Proviseur au Lycée de Lille.

**GOTENDORF** (**Silvanus**), 39, rue de Clichy.

MM.

**GOULIER**, Colonel du Génie, 6, rue d'Estrées.

**GOURÉ DE VILLEMONTÉE**, Professeur à l'École normale de Cluny.

**GOUTY**, Ingénieur, à Genève (Suisse).

**GOUY**, Professeur à la Faculté des Sciences, 2, place Raspail, à Lyon.

**GOVI**, Sénateur, Professeur à l'Université de Naples, 5, via Nuova Pizzofalcone (Italie).

**GRAJON (A.)**, Docteur en Médecine à Vierzon.

**GRAMMACINI (J.)**, Receveur-Chef du Poste central des télégraphes, à Paris, 103, rue de Grenelle.

**GRAVIER (Alfons)**, Ingénieur, 7, rue Faraday.

**GRAY (Matthew)**, Directeur de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

**GRAY (Robert Kaye)**, Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown, Essex, à Londres.

**GRÉHANT (D^r)**, Directeur-adjoint du Laboratoire de Physiologie générale. au Muséum, 17, rue Berthollet.

**GRELLEY**, Directeur de l'École Supérieure du Commerce, 102, rue Amelot.

**GRENIER (Félix)**, Préfet des Deux-Sèvres, à Niort.

**GREZEL (Louis)**, Professeur de Physique à Nantua.

**GRIPON**, Professeur à la Faculté des Sciences, 5, faubourg de Paris, à Rennes.

**GRIVEAUX**, Professeur au Lycée, 16, rue Monthrillant, à Mont-Plaisir (Lyon).

**GROGNOT (L.)**, Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

**GROOT** (le P. **L.-Th. de**), 11, rue des Récollets, à Louvain (Belgique).

**GROSSETESTE (William)**, Ingénieur civil, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse.

**GUEBHARD**, Professeur Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 6, rue Le Goff.

**GUELPA**, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

**GUERBY**, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

**GUÉRIN (Émile)**, Fabricant d'appareils électriques, 5, rue Montmorency.

**GUILLAUME**, Docteur ès sciences attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

**GUILLEBON (de)**, Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

**GUNTZ**, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

**HAGENBACH**, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

**HANRIOT**, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt (Meurthe-et-Moselle).

**HARDY** (D^r E.), Chef des travaux chimiques de l'Académie de Médecine, 90, rue de Rennes.

**HAUCK (W.-J.)**, Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kettenbrücken Gasse, à Vienne (Autriche).

MM.

**HELOUIS**, Ingénieur, 17, rue Reine-Henriette, à Colombes.

**HENOCQUE** (le Dr), Directeur-adjoint au Laboratoire de Médecine de l'École des Hautes-Études au Collège de France, 87, avenue de Villiers.

**HEPITÈS** (**Stefan**), Ingénieur, Directeur général du Ministère des Domaines, à Bucarest (Roumanie).

**HESEHUS** (**N.**), Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**HILLAIRET** (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 9, rue Roquépine.

**HOSPITALIER**, Ingénieur des arts et manufactures, 6, rue du Bellay.

**HOSTEIN**, Professeur au Lycée, 37, rue Isabey, Nancy.

**HUDELOT**, Répétiteur à l'École Centrale, 6, rue Saint-Louis en l'Ile.

**HUGO** (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

**HUGON**, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

**HUGUENY**, Prof. honoraire de Faculté, 19, rue des Frères, à Strasbourg.

**HURION**, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

**HUSSON** (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

**IMBERT** (**Armand**), Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

**INFREVILLE** (**G. d'**), Électricien de la Western Union Telegraph Ce, 408 West, 43rd street, à New-York (États-Unis).

**ISAMBERT**, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de la Préfecture, à Poitiers.

**IVANOFF** (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

**JABLOCHKOFF**, Ingénieur, 21, rue Parmentier, à Neuilly-sur-Seine.

**JANNETTAZ** (**Ed.**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 9, rue Linné.

**JANNIN**, Professeur de Physique en retraite, 10, rue du Jardin national, à Albi.

**JANSSEN**, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

**JARRE**, 2, rue des Pyramides.

**JAVAL**, Député, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

**JÉNOT**, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

**JEUNET**, Professeur au Lycée d'Angoulême.

**JOLY**, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 72, rue Claude-Bernard.

**JOLY** (**Léon**), Inspecteur du Crédit Foncier, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

**JOUBERT**, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

**JOUBIN**, Agrégé-préparateur au Collège de France, 33, rue de Tournon.

MM.

**JOUET**, 6, rue de Clichy.

**JOULE** (J.-P.), F. R. S., 13, Wardle Road, Sale, Manchester (Angleterre).

**JUNGFLEISCH**, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

**JUSSIEU** (F. de), Imprimeur, Directeur du journal *l'Autunois*, 4, Grand'Rue, à Autun.

**KAREIS**, Professeur de Physique, à Vienne (Autriche).

**KERANGUÉ** (Yves de), Capitaine adjudant-major au 23e bataillon de chasseurs à pied, à Limoges.

**KŒCHLIN** (Horace), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

**KŒNIG**, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

**KOTCHOUBEY**, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

**KOWALSKI**, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux.

**KRETZ**, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

**KROUCHKOLL**, Licencié ès Sciences, 17, faubourg Saint-Jacques.

**LACOINE** (Émile), Ingénieur-Électricien, à Constantinople (Turquie).

**LAFOREST** (Comte de), Colonel du 6e de ligne, à Saintes.

**LALANCE** (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

**LALANDE**, Libraire, à Brives.

**LALANDE** (de), Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 87, rue de Rennes.

**LAMANSKY**, Professeur à l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

**LAMON**, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

**LANGLADE**, Ingénieur civil, 22, rue Saint-Augustin.

**LARNAUDE**, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Aulnay par Maule (Seine-et-Oise).

**LAROCHE**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

**LAROCQUE**, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

**LATCHINOW**, Professeur à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbour (Russie).

**LAURENT** (Léon), Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

**LAVIÉVILLE**, Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue de Lisbonne.

**LAW** (Arthur B.), 49 ter, allées d'Amour, à Bordeaux.

**LAWTON** (George Fleetwood), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph Cº, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

**LEBLANC**, ancien élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy.

**LEBOSSÉ** (l'Abbé), Professeur de Physique au Collège Saint-Jean, 12, rue de Béthune, à Versailles.

MM.

**LECHAT**, Professeur en retraite, 27, rue Vital.

**LE CHATELIER (André)**, Ingénieur des constructions navales, à Toulon.

**LE CHATELIER (Henry)**, Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

**LE CHATELIER (Louis)**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

**LE CHÂTONNIER**, Chimiste en chef des Douanes, à Rouen.

**LECOQ DE BOISBAUDRAN (François)**, Correspondant de l'Institut, à Cognac, et 36, rue de Prony.

**LE CORDIER (Paul)**, Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger, 15, rue de Tanger, Alger.

**LEDEBOER**, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

**LE DOLLEY**, Contrôleur des Télégraphes, 15, rue Terme, à Lyon. Central.

**LEDUC**, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

**LEFEBVRE**, Capitaine au 95e d'infanterie, à Bourges.

**LEFEBVRE**, Professeur au Lycée, 18, rue Montbauron, à Versailles.

**LEFEBVRE (Victor)**, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 70, avenue du Maine.

**LELORIEUX**, Professeur au Lycée Lakanal, 110, boulevard Arago.

**LEMOINE (E.)**, ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

**LEMOINE (G.)**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

**LEMONNIER**, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

**LEMSTRÖM (Selim)**, Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

**LÉON (Gustave)**, Ingénieur au Corps des Mines, 1, rue Madame.

**LEPERCQ (Gaston)**, Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

**LERMANTOFF**, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

**LE ROUX**, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

**LEROY**, Professeur au Lycée de Vanves, 4, rue de la Grande-Chaumière.

**LEROY**, Médecin-Major au 6e régiment de cuirassiers, 18, avenue de Breteuil.

**LESAGE**, Professeur au Lycée de Châteauroux.

**LESCHI**, Professeur au Collège de Corte.

**LESPIAULT**, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

**LÉTANG (Paul)**, Préparateur à la Faculté des Sciences, 31, boulevard de Port-Royal.

**LÉVY**, Chef d'Institution, 20, rue Vauquelin.

**LÉVY (Armand)**, Professeur au Lycée de Poitiers.

**LIBERT (J.-C.-D.)**, Professeur au Collège de Morlaix.

**LIPPICH (Fr.)**, Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

**LIPPMANN**, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

**LISLEFERME (de)**, Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).

MM.

**LOIR**, Directeur-Ingénieur des télégraphes, à Lyon.

**LORRAIN** (**James-Grieves**), Consulting Engineer Norfolk House, Norfolk street, London. W. C.

**LOUGUININE**, Officier supérieur de l'armée russe, 4, rue Mesnil.

**LUCCHI** (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée Royal Tito Livio, Padoue (Italie).

**LUTZ**, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

**LYON** (**Gustave**), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

**MACÉ DE LÉPINAY**, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

**MACH** (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

**MADAMET**, Directeur de l'École d'application du Génie maritime, 84, boulevard Saint-Michel.

**MAGNE**, Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

**MAICHE**, Ingénieur électricien, 3, rue Louis-le-Grand.

**MAIGRET** (**Dr**), 44, avenue de la République, Grand-Montrouge.

**MAISONOBE**, Lieutenant au 6e régiment d'Artillerie, à Clermont-Ferrand.

**MALLARD**, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

**MALOSSE**, Professeur agrégé à l'École de Médecine, 2, rue Marceau, à Montpellier.

**MANEUVRIER**, Agrégé de l'Université, attaché à l'École des Hautes Études, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

**MAREY**, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

**MARIA** (**Emile**), Professeur à l'École Turgot, 12, rue de Longchamps.

**MARTIN** (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

**MARTINET**, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 5, rue de l'Amiral Courbet.

**MASCART**, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 176, rue de l'Université.

**MASSE**, Professeur au Lycée de Toulon.

**MASSIEU**, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

**MASSON** (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

**MATHIAS** (**Émile**), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 75, rue Saint-Honoré.

**MAUMENÉ**, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lyon, et 91, avenue de Villiers.

**MAUPEOU D'ABLEIGES** (**de**), Ingénieur de la Marine, Membre du Conseil des travaux, 30, rue Vittal (Passy).

**MAURAT**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.

**MEAUX** (**de**), Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MM.

**MENDELSSOHN** (**Maurice**), Docteur en Médecine, 111, boulevard Saint-Germain.

**MÉNIER** (**Henri**), 5, avenue Van-Dyck.

**MERCADIER**, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

**MERGIER**, Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 133, boulevard Saint-Michel.

**MÉRITENS** (**de**), Ingénieur, 73, rue Pigalle.

**MERLIN** (**Paul**), Professeur au Lycée Condorcet, 7, rue de la Montagne Sainte-Geneviève.

**MERSANNE** (**de**), Ingénieur-Électricien.

**MESLIN**, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, place d'Armes.

**MESTRE**, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur au chemin de fer de l'Est, 132, rue Lafayette.

**MEYLAN**, Ingénieur, Secrétaire de la rédaction du Journal *La Lumière électrique*, 31, boulevard des Italiens.

**MEYSENHEIM** (**Louis-Maria**), Chef de Section des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics, 4, avenue de la Gare, à Nanterre-sur-Seine.

**MINARY**, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

**MINGASSON**, Professeur au Lycée de Vanves.

**MINNE**, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue de la Glacière.

**MOITESSIER** (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier, Faubourg Boutonnet.

**MOLTENI**, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

**MOLZ**, Ingénieur, 149, rue de Rennes.

**MONDOS** (**Robert**), Ingénieur, 89, rue Nollet.

**MONOYER**, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

**MONTAUD** (**B. de**), Ingénieur civil, 73, rue d'Allemagne.

**MONTEFIORE** (**Levi**), Ingénieur, Sénateur, Fondateur de l'Institut électrotechnique à Liège.

**MONTEIL** (**Silvain**), Juge de Paix à Mercœur (Corrèze).

**MONTHIERS** (Maurice), 135, boulevard Malesherbes.

**MORANA** (**Ignace**), Électricien, 44, rue de Lausanne, à Genève.

**MORELLE**, Chef des travaux pratiques de la Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Caumartin, à Lille.

**MORELLE**, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.

**MORS**, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 8, avenue de l'Opéra.

**MOSER** (**Dr James**), Docent à l'Université, Schwarz Spanier St. 16, Vienne (Autriche).

**MOUCHEZ** (l'Amiral), Directeur de l'Observatoire de Paris.

**MOUCHOT**, Professeur en retraite, 39, rue de Fleury, à Fontainebleau.

**MOUTIER**, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, 13, rue Gay-Lussac.

MM.

**MOUTON,** Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 1, rue de l'Audience, à Fontenay-sous-Bois.

**MUIRHEAD** (Dr **Alexandre**) F. C. S., 5, Cowley Street, Westminster, S. W. Londres.

**MUIRHEAD** (**John**), Fabricant d'appareils électriques, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

**NACHET** (**A**), Constructeur d'instruments d'optique, 17, rue Saint-Séverin.

**NACHET** (**Camille**), Constructeur d'instruments d'optique, 21, rue Caumartin.

**NAMBA MASSACHI,** à l'Université, Dépt des Sciences, à Tokio (Japon).

**NAPOLI** (**David**), Inspecteur du matériel, chef du Laboratoire des Essais au chemin de fer de l'Est, 34 *ter*, rue de Dunkerque.

**NEGREANO** (**D.**), Professeur au Lycée de Jassy (Roumanie), et 32, rue des Écoles.

**NOUGARET** (**Élie**), Professeur au Lycée, place Plumancy, à Périgueux.

**NERVILLE** (**de**), Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

**NEUBURGER,** Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

**NEYRENEUF,** Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

**NOAILLON,** Ingénieur civil, à la Chénée, près Liège (Belgique).

**NODON** (**Albert**), Ingénieur civil, 23, rue de l'Ancienne-Comédie.

**NODOT,** Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Dijon.

**NOÉ** (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet.

**NOGUÉ** (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

**NOTHOMB** (**Louis**), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, 91, avenue Louise, à Bruxelles.

**ODINOT,** Professeur au Collège, 1, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Épinal.

**OFFRET,** Professeur au Lycée, 9, rue Martin du Nord, à Douai.

**OFFRET** (**Albert**), Maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 77, avenue de Saxe, à Lyon.

**OGIER** (**Jules**), Docteur ès sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

**OLIVIER** (**Louis**), Docteur ès sciences, 56, rue Gay-Lussac.

**OLLIVIER** (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

**ONDE,** Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

**ORDUÑA,** Ingénieur, à Madrid (Espagne).

**ORLÉANS** (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 9, rue de Mailly.

**PAILLARD-DUCLÉRÉ** (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

**PAILLOT,** Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Lille.

MM.

**PALAZ** (**Adrien**), Dr ès Sciences, attaché au Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

**PALMADE**, Professeur au Lycée de Saint-Etienne.

**PALMADE**, Capitaine du Génie, à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

**PANZANI** (**J.-P.**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques au Lycée Louis-le-Grand.

**PARAYRE** (l'abbé), Licencié ès Sciences physiques, 9, rue Vineuse.

**PARENTHOU** (**Émile**), Ingénieur, 20, rue des Grands-Augustins.

**PARISSE**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

**PARMENTIER**, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

**PASQUIER** (Dr), rue Saint-Nicolas, à Evreux.

**PASSOT** (Dr), 34, rue Saint-Basile, à Marseille.

**PAUCHON** (**Ernest**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 49, rue Ecuyère, à Caen.

**PAUL** (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, à Bone (Algérie).

**PAUMÈS**, Docteur en Médecine, rue Pergaminien, à Toulouse.

**PAVLIDÈS** (**Démosthènes**), Étudiant en Médecine, 19, avenue du Trocadéro.

**PAYN** (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, au Caire (Egypte).

**PEDROSO** (**Carlos de**).

**PELLAT** (**H.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

**PELLERIN**, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

**PELLIN** (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

**PÉRARD** (**L.**), Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

**PÉRIER** (**Paul**), attaché au Bureau central Météorologique, 176, rue de l'Université.

**PÉRIGNON**, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

**PERNET**, Professeur de Physique en retraite, faubourg de Paris, Maison de l'Arc, à Dôle.

**PERNET** (Dr **J.**), Karlsbad, 22, Berlin, W.

**PERROT** (**Paul**), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 191, boulevard Pereire.

**PÉTROFF**, Professeur à l'Institut Technologique de Saint-Pétersbourg (Russie).

**PEUCHOT**, Dessinateur et graveur, 10, rue de Nesles.

**PEUCHOT**, Ingénieur opticien, 4, rue des Bernardins.

**PHILBERT**, Ancien receveur des télégraphes, 32, faubourg de Fougères, à Rennes.

**PHILIPPE**, Professeur au Collège Sainte-Barbe, 21, rue Paradis.

**PHILIPPON** (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, 166, boulevard Montparnasse.

**PICOU**, Ingénieur des arts et manufactures, à l'usine Edison, 5, rue du Parc, à Ivry-sur-Seine.

**PILLEUX**, 16, rue du Prévôt, à Beauvais.

MM.

**PIONCHON**, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

**PITANGA** (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 50, rua do Marquez d'Abrantes.

**PLANTÉ** (**Gaston**), 12, rue des Vosges.

**PLATZER** (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

**PLOIX** (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 47, rue de Verneuil.

**POINCARÉ**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

**POINCARÉ** (**Lucien**), Agrégé, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 4, carrefour de l'Odéon.

**POIRÉ**, Professeur au Lycée Condorcet, 95, boulevard Malesherbes.

**POLLARD** (**Jules**), Ingénieur des constructions navales, 41, rue de la Rampe, à Brest.

**PONSELLE** (**George**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 19, rue de Madrid.

**POPP** (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 6, rue Franche-Comté.

**POTIER**, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

**POUSSIN** (**Alexandre**), Ingénieur au Château de La Houblonnière, par Lisieux.

**PRÉAUBERT** (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

**PRÉSIDENT** (le) de la Société de Physique de Londres.

**PRÉSIDENT** (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

**PUJALET**, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

**PUPIN**, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

**PUYFONTAINE** (Comte **de**), 34, avenue Friedland.

**RADIGUET** (**fils**), Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

**RAFFARD**, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

**RAMEAU** (**l'abbé**), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

**RANQUE** (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

**RAYET**, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

**RAYMOND**, Ingénieur des constructions navales, à Lorient.

**RECHNIEWSKI**, Ingénieur, 25, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève.

**RECOURA** (**Albert**), Agrégé préparateur au Collège de France, 18, rue de la Sorbonne.

**REDIER**, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

**RÉGNARD**, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.

**REISET**, Membre de l'Institut, 2, rue de Vigny.

**RENARD**, Chef de bataillon du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

**RENAULT**, Licencié ès Sciences physiques, 13, rue Méchain.

**REY** (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

MM.

**REYNIER (Émile)**, Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

**RIBAIL (Xavier)**, Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 6, rue de Constantinople.

**RIBAN (Joseph)**, Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des Hautes Études, 85, rue d'Assas.

**RICHARD**, Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

**RICHET (Th.)**, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

**RIGOUT**, Préparateur de Chimie à l'École des Mines.

**RIVIÈRE (Charles)**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

**ROBIN (P.)**, Directeur de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

**ROBLES (José de)**, Ingénieur agronome, calle del General Castagnos, 7, à Madrid (Espagne).

**ROCANDÉ (Olivier R.)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 65, quai de Seine, à Courbevoie.

**RODDE (Ferd.)**, 7, rue du Delta.

**RODDE (Léon)**, 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

**RODOCANACHI (Emmanuel)**, 42, avenue Gabriel.

**ROGER (Albert)**, rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

**ROGER**, ancien Chef d'Institution, 161, rue Saint-Jacques.

**ROGNETTA (F.-B.)**, Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

**ROIG Y TORRES (Raphaël)**, Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

**ROISIN (Paul)**, ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

**ROMILLY (de)**, 8, rue de Madrid.

**ROOSEVELT**, Ingénieur, au château de Bray, par Saint-Perret (Ardèche).

**ROSENSTIEHL**, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route de Saint-Leu, à Enghien.

**ROUBY (Emmanuel)**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 46, rue Notre-Dame-des-Champs.

**ROUSSEAU**, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles.

**ROUSSEAU (Paul)**, Fabricant de produits chimiques, 17, rue Soufflot.

**ROUSSELET**, Professeur au Lycée de Nîmes.

**ROUSSELOT** (l'abbé), 74, rue de Vaugirard.

**ROUX (Gaston)**, Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, engagé conditionnel au 82e de ligne, 1er bataillon, 4e compagnie, à Montargis.

**SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile)**, Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

**SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri)**, Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

**SAINT-LOUP**, Doyen de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

**SALADIN**, Ingénieur civil des Mines, 2, avenue Malakoff.

MM.

**SALCHER** (**Dr P.**), Professeur à l'Académie Impériale de Fiume (Autriche-Hongrie).

**SALET**, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boulevard Saint-Germain.

**SAMBOURG** (**Ch.**), Inspecteur Ingénieur des Lignes télégraphiques, 6, rue de la Porte-Maillot.

**SANDOZ** (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 40, rue d'Ulm.

**SARCIA** (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 76, rue de Rochechouart.

**SARRAU**, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 9, avenue Daumesnil.

**SAUTTER** (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

**SAUVAGE** (**Henri**), Inspecteur des Postes et des Télégraphes, à Évreux, rue de l'École Normale.

**SCHAEFFER**, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

**SCHNEIDER** (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 40, rue du Four.

**SCHODDUIJN** (l'abbé), Professeur de Sciences, à l'Institution Saint-Joseph, à Gravelines.

**SCHWEDOFF**, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

**SCIAMA**, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 10, rue Sainte-Anne.

**SEBERT**, Colonel d'Artillerie de Marine, Directeur du laboratoire central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

**SÉGUIN**, ancien Recteur, 1, rue Ballu.

**SEIGNETTE** (**Adrien**), Licencié ès Sciences, 21, rue Tronchet.

**SELIGMANN-LUI**, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

**SERRÉ-GUINO**, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 36, rue Saint-Placide.

**SERRIN** (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

**SIMON**, Pharmacien, à la Ferté-Fresnel (Orne).

**SIMOUTRE** (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

**SIRE** (**G.**), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

**SIRVENT**, Professeur au Lycée Saint-Louis, 106, rue de Rennes.

**SOKOLOFF** (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

**SLOUGUINOFF**, Professeur de Physique au cabinet de Physique de l'Université impériale de Kasan (Russie).

**SORET**, Professeur à l'Académie de Genève (Suisse).

**SOLIGNAC**, Ingénieur-Électricien, 247, rue Saint-Honoré.

**SOMZÉE** (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

**STAPFER** (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

**STEPANOFF**, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

**STOKES** (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Lensfield Cottage, Cambridge.

**STOLETOW** (**Al.**), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

MM.

**STRAUSS**, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

**STREET** (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 71, rue Treilhard.

**STRUMBO**, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

**STSCHEGLAIEF** (**Wladimir**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

**TACCHINI**, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

**TEISSERENC DE BORT** (**Léon**), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

**TEISSIER**, Professeur au Lycée, 5, rue de Lille, à Nice.

**TEPLOFF**, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

**THENARD** (le **baron Arnould**), chimiste agriculteur, 6, place Saint-Sulpice.

**THIERCELIN**, Ingénieur des Arts et Manufactures, 43, rue Madame.

**THIESEN**, adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

**THOMPSON** (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Leonard street, Londres, E. C.

**THOMSON** (Sir **William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

**THOUVENEL**, Professeur au Lycée de Vanves, 130, boulevard Montparnasse.

**THOUVENOT** (**Clovis**), Ingénieur-Électricien de la Société générale d'Éclairage, Palazzo Chigi, à Rome.

**THYRION**, Professeur au Collège, 201, rue Saint-Merry, à Fontainebleau.

**TIMIRIAZEFF**, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

**TISSANDIER** (**Gaston**), Directeur du Journal « *La Nature* », 19, avenue de l'Opéra.

**TOMMASI** (**Donato**), Professeur de Chimie, 13, rue Daru.

**TOMMASI** (**Ferdinando**), Ingénieur, 13, rue Daru.

**TONARELLI**, Censeur du Lycée de Périgueux.

**TOUANNE** (**de la**), Ingénieur des télégraphes, 13, rue Soufflot.

**TRANNIN** (**Henri**), Docteur ès Sciences, ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Arras.

**TRIPIER** (le Dr), 41, rue Cambon.

**TROTIN**, Ingénieur des télégraphes, 38, quai Henri IV.

**TROUVÉ** (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

**TULEU**, Ingénieur, 17, rue Visconti.

**UCHARD** (**A.**), Capitaine d'artillerie, 4, rue Maurepas, à Versailles.

**UNIVERSITÉ DE SYDNEY** (**New South Wales**).

**VACHER** (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

MM.

**VAGNIEZ BENONI**, Négociant, 14, rue Lemerchier, à Amiens.

**VALBY**, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

**VALETTE**, Rédacteur au Journal « *Cosmos* », 8, rue François Ier.

**VAN AUBEL (Edmond)**, Membre de la Société de Physique de Berlin, 107, rue de Louvrex, à Liège.

**VAN BIERVLIET (Albert)**, 39, rue des Joyeuses-Entrées, à Louvain.

**VANDENBROUCQUE**, Professeur à l'Institution libre, à Marcq en Barœul (Nord).

**VAN DER MENSBRUGGHE (Gustave-Léonard)**, Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).

**VAN DER VLIETH**, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

**VARACHE**, Professeur au Collège de Béziers.

**VARENNE (de)**, Préparateur du Laboratoire de Physiologie générale au Muséum, 7, rue de Médicis.

**VARIN**, Professeur au Collège, à Épinal.

**VASCHY**, Sous-Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

**VAUCHERET**, Colonel d'Artillerie, Directeur de la Section technique de l'Artillerie, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin.

**VAUTIER (Théodore)**, Chargé des conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

**VERDIN**, Constructeur d'instruments pour la Physiologie et la Médecine, 6, rue Rollin.

**VERRIER (Gabriel)**, Ingénieur électricien, Ancien élève diplômé de l'École centrale et de l'École supérieure de Télégraphie, 13, boulevard Saint-Germain.

**VIEILLE**, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, quai Bourbon.

**VILLARS**, Maître de conférences à la Faculté et Professeur au Lycée de Montpellier.

**VILLIERS (Antoine)**, Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

**VILLY**, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

**VIOLET (Léon)**, sous-directeur des ateliers Carpentier, 20, rue Delambre.

**VIOLLE**, Maître de conférences à l'École Normale, 89, boulevard Saint-Michel.

**VION**, Professeur à l'École primaire supérieure d'Amiens.

**VLASTO (Ernest)**, Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

**VOIGT**, Professeur au Lycée, 30, rue des Gloriettes, à Lyon.

**VOISENAT (Jules)**, Sous-Ingénieur des télégraphes, à Besançon.

**WAHA (de)**, Professeur de Physique à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

**WALLON (E.)**, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 65, rue de Prony.

**WARREN DE LA RUE**, Correspondant de l'Institut, 73, Portland Place, Londres, W.

MM.

**WEISS**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 73, boulevard Saint-Michel.

**WENDT (Gustave)**, Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

**WERLEIN (Ivan)**, Constructeur d'instruments d'Optique, 71, rue du Cardinal-Lemoine.

**WEST (Émile)**, Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue des Saints-Pères.

**WEYHER**, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

**WIEDEMANN (Eilhard)**, Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

**WITZ (Aimé)**, Ingénieur civil, 104, boulevard Vauban, à Lille.

**WOLF**, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

**WROBLEWSKI (Dr Sigismond de)**, Professeur de Physique à l'Université de Cracovie (Autriche).

**WUNSCHENDORFF**, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 97, rue de Rennes.

**XAMBEU**, 41, Grande-Rue, à Saintes.

**YVON**, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

**ZAHM (J.-A.)**, Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

**ZEGERS (Louis-L.)**, Ingénieur des Mines du Chili, Chacabuco, 57, à Santiago.

**ZILOFF**, Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

Mai 1888.

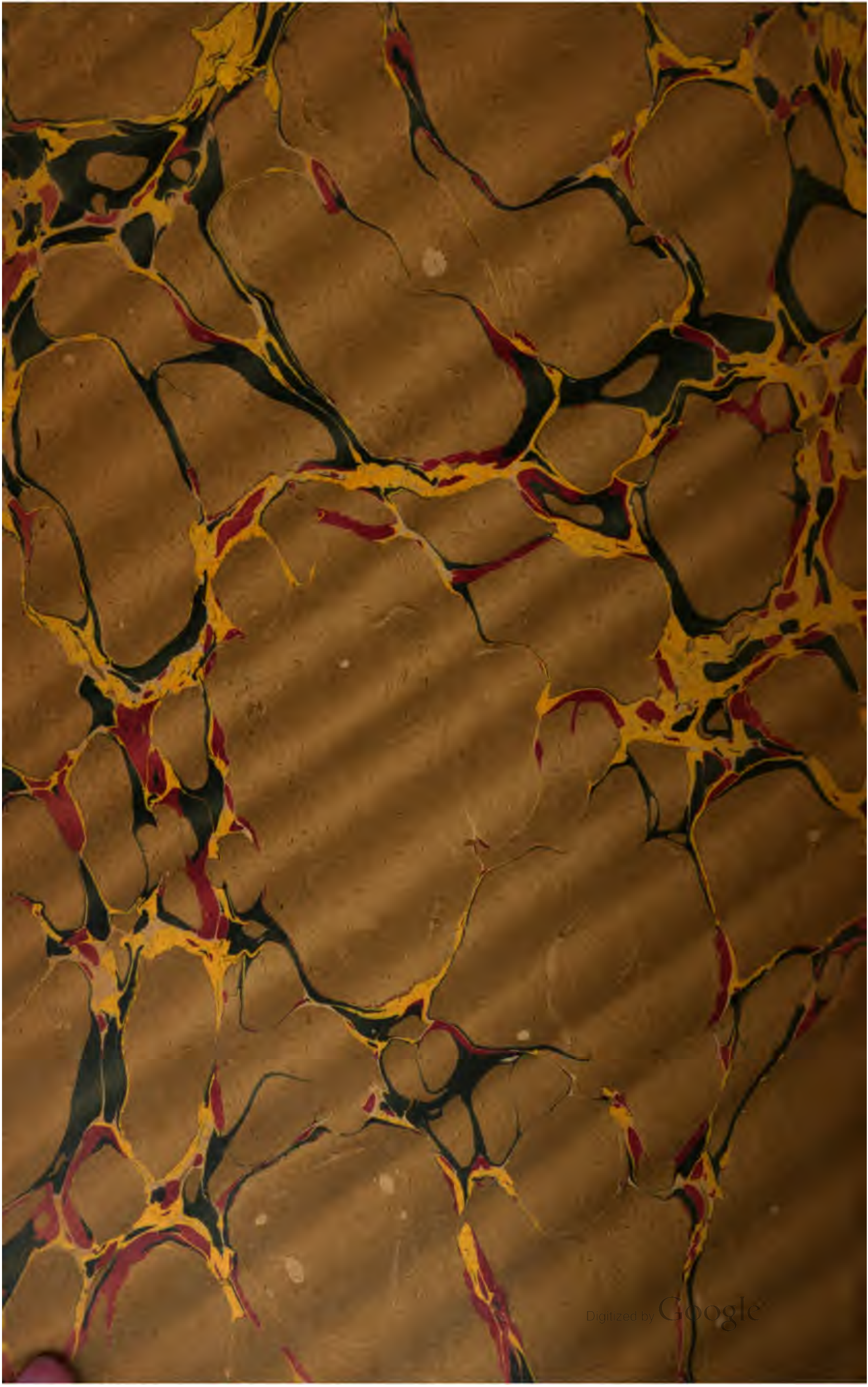
---

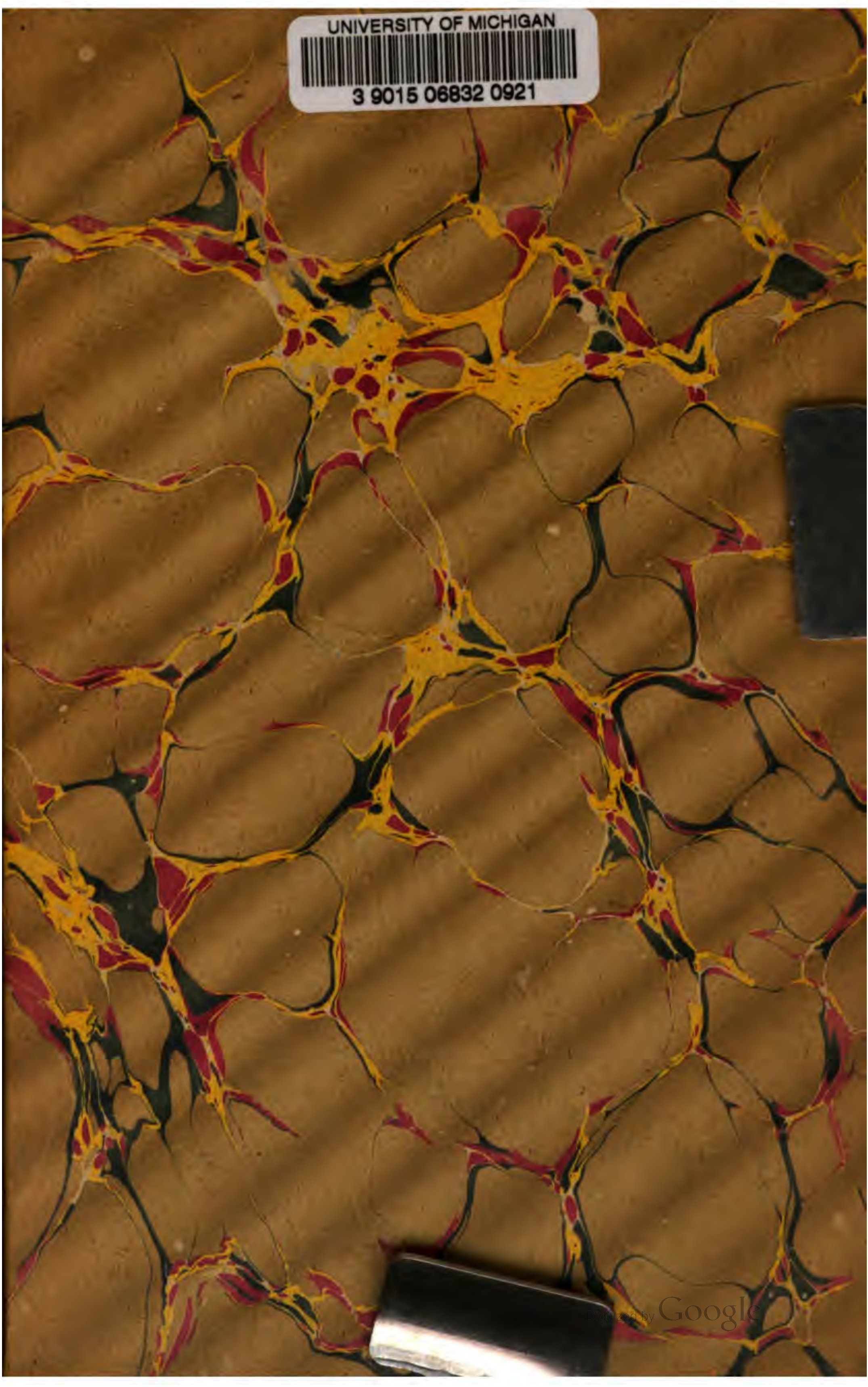
*Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.*

# TABLE DES MATIÈRES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

13938 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.




UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06832 0921
Google

